مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
المنظمة العربية للترجمة

إيان بليمر

السماء + الأرض

الاحترار الكوني: العِلم المفقود

ترجمة
عبد الله مجير العمري

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدّمة

نبـذة عـن المؤلـف

البروفسور إيان بليمر (كلية علوم الأرض والبيئة، جامعة أديليد) جيولوجي أستراليا الأكثر شهرةً، وأستاذ شرف العلوم الأرضية (الجيولوجية) في جامعة ملبورن. كان مشرفاً لعلوم الأرض في جامعة ملبورن (1991 ـ 2005) وأستاذاً ورئيس قسم في جامعة نيوكاسل (1985 ـ 1991). كان من قبل عضواً في هيئة تدريس جامعة نيو إنغلند، وجامعة نيو ساوث ويلز، وجامعة مكوري. وقد نشر أكثر من 120 بحثاً علمياً في الجيولوجيا. وهذا هو كتابه السابع الذي يكتبه للقارئ العادي، ومن أهم كتبه: «**الكذب على الله**»، و«**الميلوسي: تاريخ الجيولوجيا**»، و«**تاريخ كوكب الأرض المختصر**».

فاز بليمر بجائزة «ليوبولد فون بوخ» بلاكت (الجمعية الجيولوجية الألمانية)، وميدالية كلارك (الجمعية الملكية لنيو ساوث ويلز)، وميدالية «سر ولس كونولي» (المؤسسة الأستراليزية للحفر والمعادن) وانتخب زميلاً للأكاديمية الأسترالية للعلوم التكنولوجية والهندسة، وعضو شرف في الجمعية الجيولوجية في لندن. في عام 1995 منح بليمر لقب «الإنساني الأسترالي» للعام تسلم بعدها الميدالية المئوية. كان محرراً إدارياً لمجلة «مينراليوم ديبوزيتا» ورئيس «السي جي أي» و«الآي أي جي أو دي»، ورئيس مجلس علم الجيولوجيا الأسترالي، ثم عضو هيئة العلوم الأرضية في مجلس البحث الأسترالي لعدة سنوات. يتحدث بليمر باستمرار إلى عامة الناس على الراديو والتلفزيون عن العلوم ودورها الخلّاق في النهضة والتطور، واستلم جائزة «يوريكا» لكتاب **تاريخ كوكب الأرض المختصر**، وجائزة مايكل ديلي (يوريكا الآن) لبث العلوم.

أمضى البروفسور بليمر جزءاً كبيراً من حياته في مدينة مناجم الزنك ـ الرصاص ـ الفضة في «بروكن هل» حيث تتطلب أن تجتمع المعرفة العلمية

متعددة المجالات مع جزء صحي من الشك والبراغماتية. في هذه المدينة عمل بليمر عضو شرف عامل في مركز للجيولوجيا في «لايفلاين» وفي شركة «نورث بروكن هل»، ثم مديراً لشركة موارد «سي بي إتش»، (Ivanhoe Australia)، و(Kefi Minerals)، وسُمّي مؤخراً معدن بروكن هل جديد، «بلمرايت» (Plimerite) على اسمه $ZnFe_4(PO_4)_3(OH)_3$ تقديراً لمساهمته في جيولوجية «بروكن هل». و«البلمرايت» مادة لا تذوب في الكحول.

المحتويـات

تقديـم 13

الفصل الأول : مقدمة 15

المناخ 16

ثاني أكسيد الكربون والتلوث 19

علم المناخ 21

لماذا اللجنة الدولية للأمم المتحدة من أجل تغير المناخ؟ 26

تغير المناخ 33

عودة إلى الأيام الخوالي 38

شكر وتقدير 39

الفصل الثاني : تاريـخ 43

مناخاتنا المتغيرة 46

الاحترار الأخير العظيم 50

التجمد الكبير الأخير 53

نهاية التجمد 56

الاحترار الروماني (250 قبل الميلاد ـ 450 م) 80

العصور المظلمة (535 ـ 900 ق.م) 82
احترار العصور الوسطى (900 ـ 1300م) 86
العصر الجليدي الصغير (1280 ـ 1850م) 98
احترار أواخر القرن العشرين (1850 إلى الحاضر) 117
القصة الطويلة للصنوبر المنعزل 119

الفصل الثالث : الشمس 135
جالبات الحياة، سخونة وبرودة 136
غبار في الهواء 137
كرات الثلج والأذرع اللولبية 141
رحلة الزمن المَجَرّي 143
رصاصات مَجَرِّية 146
محرك الطقس 150
كرة السخونة الكبيرة تلك التي في السماء 155
الانبعاثات الشمسية الغاضبة 156
الاضطراب الداخلي للشمس 159
صدمة ورعب: إن الثابت الشمسي ليس ثابتاً 162
تشوّهات في جمالها 167
الماء، وثاني أكسيد الكربون، والحرارة والشمس 173
علامات قديمة عن النشاط الشمسي 177
الشمس والمناخ 191

الفصل الرابع : الأرض 197

الحياة على الأرض 199

الانقراض 233

الاحترار الكوني والأمراض المعدية 264

التصحر 269

البراكين العظمى 280

الغازات البركانية 287

الجليد، والبراكين والزلازل 299

اهتزاز نظرية الاهتزاز لمليلانكوفتش 304

الفصل الخامس : الجليد 313

الجليد 314

العصور الجليدية 317

تقدم الجليد وتراجعه 323

القطب الشمالي (الأركتيك) 340

القطب الجنوبي (الأنتركتيك) 353

مجلدات أودية الألب 371

جليد البحر 378

الفصل السادس : المياه 385

المياه العجيبة 387

الطوفان الكبير 390

مستوى سطح البحر 392
الجزر المرجانية 419
المحيطات الحمضية 436
حرارة سطح البحر 445
إل نينو 459
دورة الماء 472
الصخور التي جعلت الإنسان مجنوناً 474

الفصل السابع : الهـواء 477
أثر الدفيئة (الاحتباس الحراري) 479
قياس درجة الحرارة 491
ثاني أكسيد الكربون 536
دورة الكربون العالمية 536
الميثان وغازات دفيئة أخرى 559
الغيوم 564

الفصل الثامن : وأنـا 567
حيثما يوجد الشك توجد الحرية 567
تعجل إثمار العلوم 575
قمة جبل الجليد 580
الإجماع العلمي 585
الإجماع العلمي 590

النهاية قريبة 594
الدين، البيئة، والرومانسية 602
بروتوكول كيوتو 613
يا عزيزي، يا عزيزي، يا عزيزي 614
ماذا لو كنت مخطئاً؟ 635
الثبت التعريفي 641
ثبت المصطلحات: عربي ـ انجليزي 645
ثبت المصطلحات: انجليزي ـ عربي 647
فهـرس 649

تقديـــم

سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية
مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي

يطيب لي أن أقدم لهذه السلسلة التي جرى انتقاؤها في مجالات تقنية ذات أولوية للقارئ العربي في عصر أصبحت فيه المعرفة محركاً أساسياً للنمو الاقتصادي والتقني، ويأتي نشر هذه السلسلة بالتعاون بين مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية والمنظمة العربية للترجمة، ويقع في إطار تلبية عدد من السياسات والتوصيات التي تعنى باللغة العربية والعلوم، ومنها:

أولاً: البيان الختامي لمؤتمر القمة العربي المنعقد في الرياض 1428هـ 2007م الذي يؤكد ضرورة الاهتمام باللغة العربية، وأن تكون هي لغة البحث العلمي والمعاملات حيث نصّ على ما يلي: (وجوب حضور اللغة العربية في جميع الميادين، بما في ذلك وسائل الاتصال، والإعلام، والإنترنت وغيرها).

ثانياً: «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية» في المملكة العربية السعودية التي انبثق عنها اعتماد إحدى عشرة تقنية إستراتيجية هي: المياه، والبترول والغاز، والبتروكيميائيات، والتقنيات المتناهية الصغر (النانو)، والتقنية الحيوية، وتقنية المعلومات، والإلكترونيات والاتصالات والضوئيات، والفضاء والطيران، والطاقة، والمواد المتقدمة، والبيئة.

ثالثاً: مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي التي تفعِّل أيضاً ما جاء في البند أولاً عن حضور اللغة العربية في الإنترنت، حيث تهدف إلى إثراء المحتوى العربي عبر عدد من المشاريع التي تنفذها مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بالتعاون مع جهات مختلفة داخل المملكة وخارجها. ومن هذه المشاريع ما يتعلق برقمنة المحتوى العربي القائم على شكل ورقي وإتاحته على

شبكة الإنترنت، ومنها ما يتعلق بترجمة الكتب الهامة، وبخاصة العلمية، مما يساعد على إثراء المحتوى العلمي بالترجمة من اللغات الأخرى إلى اللغة العربية بهدف تزويد القارئ العربي بعلم نافع مفيد.

تشتمل السلسلة على ثلاثة كتب في كلٍّ من التقنيات التي حددتها «السياسة الوطنية للعلوم والتقنية». واختيرت الكتب بحيث يكون الأول مرجعاً عالمياً معروفاً في تلك التقنية، ويكون الثاني كتاباً جامعياً، والثالث كتاباً عاماً موجهاً إلى عامّة المهتمين، وقد يغطّي ذلك كتاب واحد أو أكثر. وعليه، تشتمل سلسلة كتب التقنيات الاستراتيجية والمتقدمة على ما مجموعه ثلاثة وثلاثون كتاباً مترجماً، كما خصص كتاب إضافي منفرد للمصطلحات العلمية والتقنية المعتمدة في هذه السلسلة كمعجم للمصطلح.

ولقد جرى انتقاء الكتب وفق معايير، منها أن يكون الكتاب من أمهات الكتب في تلك التقنية، ولمؤلفين يشهد لهم عالمياً، وأنه قد صدر بعد عام 2000، وأن لا يكون ضيِّق الاختصاص بحيث يخاطب فئة محدودة، وأن تكون النسخة التي يترجم عنها مكتوبة باللغة التي ألّف بها الكتاب وليست مترجمة عن لغة أخرى، وأخيراً أن يكون موضوع الكتاب ونهجه عملياً تطبيقياً يصبّ في جهود نقل التقنية والابتكار، ويساهم في عملية التنمية الاقتصادية من خلال زيادة المحتوى المعرفي العربي.

إن مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية سعيدة بصدور هذه المجموعة من الكتب، وأود أن أشكر المنظمة العربية للترجمة على الجهود التي بذلتها لتحقيق الجودة العالية في الترجمة والمراجعة والتحرير والإخراج، وعلى حسن انتقائها للمترجمين المتخصصين، وعلى سرعة الإنجاز، كما أشكر اللجنة العلمية للمجموعة التي أنيط بها الإشراف على إنجازها في المنظمة وكذلك زملائي في مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية الذين يتابعون تنفيذ مبادرة الملك عبد الله للمحتوى العربي.

الرياض 20/ 3/ 1431 هـ
رئيس مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية
د. محمد بن إبراهيم السويل

الفصل الأول

مقدمة

إننا جميعاً بيئيون. بعضنا يؤيد بيئيتنا بمثالية سياسية ورومانسية، وآخرون يؤيدونها بالعاطفة، وثمة من ينظر إلى البيئة نظرةً دينيةً، وهناك من يعزز نظرته البيئية بالذرائع الاقتصادية، وكثيرون مثلي، يحاولون اكتساب فهم علمي متكامل عن البيئة. وتشمل النظرة العلمية المتكاملة نظرةً كاملة للأرض آخذة بالاعتبار الحياة، والصفائح الجليدية، والمحيطات، والصخور، والظواهر التي تحدث خارج الأرض وتؤثر في كوكبنا. وهذا ما حاولناه في هذا الكتاب. إنني أنظر إلى المناخ في الأزمنة الجيولوجية، والأركيولوجية (الآثارية)، والتاريخية، والمعاصرة. وتتعلق الجيولوجيا بالزمن، والتغيرات في بيئتنا خلال الزمن ونشأة كوكبنا. وإن الجيولوجيا هي السبيل الوحيد إلى دمج جميع أوجه البيئة. وإني أنظر في هذا الكتاب عمّا يخبرنا به التاريخ عن المناخ الذي مضى وكيف تؤثر الشمس، والأرض، والثلج، والماء، والهواء على المناخ. وأقدم في الفصل الأخير بعض وجهات نظري.

إن تغيرات المناخ السالفة، وتغير مستوى سطح البحر والكوارث مكتوبة على الحجر. والوقت كلمة جميلة، وإنما أسيء فهمها. ولا يستطيع معظمنا فهم الأعداد الكبيرة التي يستعملها الجيولوجيون وعلماء الفلك. إذاً لدى معظم الناس معرفة ضئيلة عن الجيولوجيا. ونادراً ما يتم دمج التاريخ وعلم الآثار بالأحداث الجيولوجية الطبيعية. فهناك القليل، وربما لا يوجد شيء، من البيانات الجيولوجية والأركيولوجية والتاريخية في نقاشات تغيرات المناخ.

إن رؤى الكوارث في مستقبل الأرض يُسقَط على مراعٍ خصبة، وهذا فيه

قليل من الدهشة. ويبيّن لنا تاريخ الزمن أن التناقص السكاني، والتمزق الاجتماعي، والانقراض، والمرض، والجفاف المفجع يحدث في أزمنة باردة، بينما تزدهر الحياة والاقتصاد في أزمنة دافئة.

إن كوكب الأرض ديناميكي. فهو دائم التغير والتطور. وهو حالياً في عصر جليدي بدأ منذ 37 مليون عام خلت.

المناخ

كان المناخ في تغير مستمر، وسيبقى يتغير دائماً. وكان مستوى سطح البحر دائم التغير. تأتي الصفائح الجليدية وتذهب. فالحياة تتغير باستمرار. وإن انقراض الحياة أمر طبيعي. كما إن كوكب الأرض ديناميكي ومتطور. أما تغيرات المناخ فهي دورية وعشوائية. وسوف أكون قلقاً، بنظرتي كجيولوجي، إن لم يكن ثمة تغير على الأرض عبر الزمن. فما هو مدى ما يغيره الإنسان في المناخ حقاً في ضوء التغيرات المناخية الطبيعية السريعة الكبيرة؟

يقود مناخ الأرض استقبال الطاقة الشمسية وإعادة توزيعها. ولن تكون حياة على الأرض بدون ذلك. وعلى الرغم من الترابط الموثق جيداً بين المناخ والنشاط الشمسي، يتم تجاهل الشمس كمحرك للمناخ على الأرض ليركز على غاز شبه أثري (ثاني أكسيد الكربون ـ CO_2)، الذي يشتق معظمه من العمليات الطبيعية. ويشكل ثاني أكسيد الكربون في الجو 0.001 في المئة من مجموع ثاني أكسيد الكربون الموجود في المحيطات، وسطوح الصخور، والهواء، والتربة، والحياة.

رغم أننا نعيش فترةً من الفترات الدافئة الكثيرة بين المراحل الجليدية[1] في العصر الجليدي الحالي، فثمة مقدار مهم من الجليد باق في المناطق القطبية. لقد كان الجليد القطبي موجوداً في أقل من 20 في المئة من الزمن الجيولوجي، والحياة على الأرض لأكثر من 80 في المئة من الزمن، وكان الماء السائل موجوداً على الأرض طيلة 90 في المئة من الزمن. وإن كوكب الأرض كوكب

(1) تسمى هذه المراحل الدافئة ما بين الجليدية. ويكون مستوى البحر أعلى عادةً. وتوسع حياة النبات والحيوان مواطنها وينخفض حجم صفائح الجليد. وسوف تستعمل كلمة ما بين الجليدي منذ الآن لهذه الفترات الدافئة.

دفيء بركاني مبتل ودافئ مسترد من الأزمنة الجليدية وحار بطبيعته. كما حدث الابتراد في الأزمنة الحالية ما بين الجليدية. وقد دفئت الأرض وبردت في جميع مقاييس الزمن، سواء أكانت جيولوجية، أم أركيولوجية، أم تاريخية، أم ضمن زمن حياتنا الخاص. ومن الأسئلة الأساسية: كم من هذا الدفء يمكننا أن نعزوه إلى النشاط البشري؟

إذا كنا نحن البشر ندفئ الكوكب الآن، فكيف نشرح الفترات الباردة والحارة المتبادلة خلال الاحترار ما بعد الجليدي الحالي؟

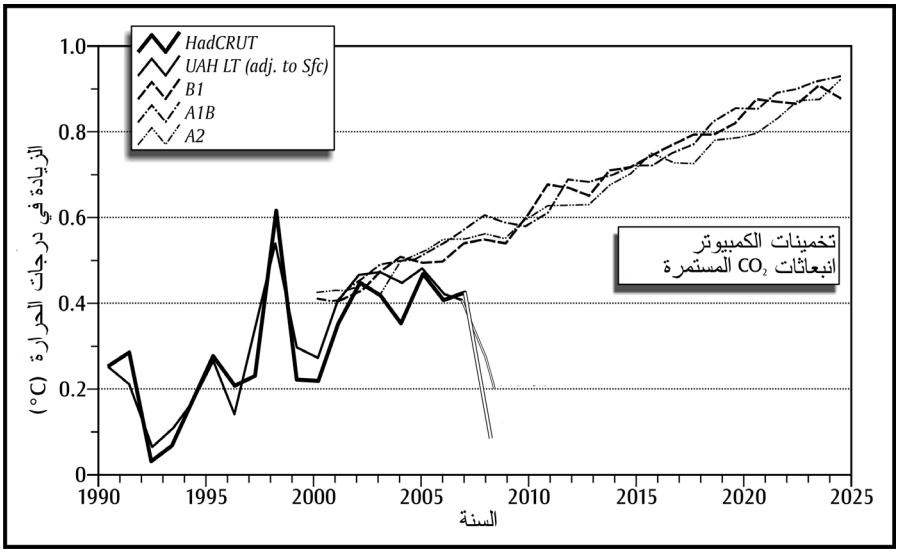
قبل أن نتمنى أن نفهم التغير المناخي الحالي، علينا أن ندرك كيف تغير المناخ في الماضي. إننا نعرف أنه كانت ثمة تغيرات مناخية ماضية قصوى وسريعة، غير أننا لا ندرك جميع محركات هذه التغيرات المناخية السالفة. وعلى الرغم من أننا نعلم أن أعداداً كبيرة من المتغيرات التي تؤثر في المناخ موجودة، وربما يكون هناك متغيرات لم يتم اكتشافها بعد. ولبعض المتغيرات المعروفة أثر كبير في المناخ، ولغيرها أثر خفيف، وربما يكون لمجموعها أثر لا يمكن توقعه.

إننا لا يمكننا أن ننظر إلى كوكب الأرض كتجربة علمية بسيطة، حيث نستطيع عزل متغير معيّن بتغيير متغير أخر.

إن الحسابات باستخدام أجهزة الكمبيوتر الضخمة، فعّالة، لكنها في الوقت نفسه مختلفة جداً عن تعقيدات كوكب الأرض، حيث الجو متأثر بالعمليات التي تحدث في عمق الأرض، والمحيطات، والجو، والشمس، والكون. وإن اختصار تغير المناخ المعاصر بمتغير واحد، CO_2، أو بالأحرى بنسبة ضئيلة من متغير واحد (على سبيل المثال، CO_2 الذي ينتجه الإنسان) ليس علماً، وبخاصة أنه يتطلب ترك كل ما نعرفه عن كوكب الأرض، والشمس والكون. وإن نماذج كهذه تفشل.

إن تاريخ تغير الحرارة عبر الزمن متعلق بشكل القارات، وشكل قاع البحر، وتمزق قشرة الأرض، وإعادة جمعها، وفتح وغلق مسارب البحار، والتغيرات في مدار الأرض، والتغيرات في الطاقة الشمسية، وتجدد الانفجارات الكونية، وغبار المذنبات، وآثار النيازك والكويكبات، والنشاط البركاني، والبكتريا، وتكون التربة، والانخساف، وتيارات المحيطات وتركيب الهواء

الكيميائي. وإذا فكرنا نحن البشر، بنوع من إثبات الذات، وأنه بإمكاننا تغيير عمليات الكوكب الطبيعية هذه، فعندها تلزمنا وسائل خارقة.



الشكل 1: توقعات خمسة من أجهزة الكمبيوتر للمناخ تمّت في عام 2000 تؤيد هذه التوقعات توقعات IPCC وجميعها تبيّن أن ليس ثمة علاقة بين حرارة المستقبل المتوقعة والحرارة المقيسة حقاً حتى ضمن فترة زمنية قصيرة. ولا توجد علاقة بين الحرارة الحالية ومحتوى ثاني أكسيد الكربون الجوي. ولا يمكن لتوقعات الكمبيوتر حتى أن تتوقع لعقد مقبل مسبقاً، ناهيك عن التنبؤ لخمسين عاماً أو قرن مقبل مسبقاً. يظهر هذ الرسم البياني أن النظرية القائلة إن إصدارات ثاني أكسيد الكربون تحدث احتراراً كونياً غير صحيحة.

إذا نظرنا إلى تاريخ ثاني أكسيد الكربون عبر الزمن، فإننا نرى أن محتواه الجوي كان أعلى من محتواه الحالي ولمعظم الوقت. أضف إلى ذلك، أن ثاني أكسيد الكربون الجوي يتبع ارتفاع درجة الحرارة ـ ولا يُحدث ارتفاعاً في درجة الحرارة. وإن القول بأن إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون تسبّب الاحترار الكوني يتطلب جمع كافة الآليات المعروفة والمشوشة ربما، عن الاحترار الكوني الطبيعي ليتم تحليلها بدقة، ومن ثم إسقاطها من الحساب. ولم تتم هذه المحاولة. والقول بأننا نحن البشر نستطيع أن نميز بين تغيرات المناخ التي يسببها الإنسان وتغيرات المناخ الطبيعية أمر ساذج. وإذا قلنا إن تغيرات المناخ

الطبيعية بطيئة وصغيرة فهذا مخالف للوقائع. وإن شعار «إيقاف تغير المناخ» إعلان عام شديد عن الجهل الكلي المطلق حيث لا يتوافق مع التاريخ، والأركيولوجيا، والجيولوجيا، وعلم الفلك، وعلوم المحيطات، والعلوم الجوية وعلوم الحياة.

يستطيع الإنسان أن يغير الطقس. أظهرت «جزيرة الحرارة المدينية»، أن الشوارع، والأسمنت، والمباني والآلات في مدن يبلغ عدد سكانها أكثر من ألف نسمة يحدث وضعاً حاراً أكثر مما يحدثه في القرى والأرياف. ونرى في أوروبا «أثر نهاية الأسبوع الشتوي» فربما ينتج الطقس الأبرد الأكثر بللاً من النشاط البشري. وليس بالضرورة أن تعني هذه التغيرات المناخية أن الإنسان يغير المناخ.

ثاني أكسيد الكربون والتلوث

يُقَصّر التلوث حياتك. غير أن ثاني أكسيد الكربون ليس ملوّثاً. فالاحترار الكوني ومحتوىً عال من ثاني أكسيد الكربون، يجلب الازدهار ويطيل في عمرك. إن ثاني أكسيد الكربون غذاء للنبات، وهو ضروري للحياة، ولن تكون من دونه حياة معقدة أو مركبة على الأرض. والضباب الملوث (الضمخان ـ Smog) شائع في بعض أجزاء العالم، يتصاعد الآن من أعمال الآجر في فنائك الخلفي، ومن المصاهر والأفران الوسخة، ومن محطات توليد الطاقة التي تستعمل فحماً يحوي نسبةً عالية من الكبريتيك والرماد، ومن نيران حرائق الغابات، ومن حرق الأعشاب والشجيرات والملايين من قطع الخشب المهملة والوسخة، ومواقد الفحم، والدفايات، والمراجل والأفران. وقد سببت ملايين من حرائق الفحم ضمخاناً مشابهاً في إنجلترا حتى خمسينيات القرن العشرين.

إن اتفاقية كيوتو معاهدة لتنظيم ثاني أكسيد الكربون، والميثان، والأكسيدات النيتروزية وغيرها من الأكسيدات النيتروجينية، والهيدروفلوركربونات، والمركبات البرفلوروكربونية عالية الكربونات وهكسافلورايد الكبريتيك. ولا يمكنها أن تكون معاهدةً لتنظيم غازات الدفيئة، لأن بخار الماء، والغاز الدفيء الرئيس، ليس مشمولاً. وتحوي الغازات المنطلقة من السيارة على غازات لا تؤذي (CO_2، والنيتروجين، وبخار الماء (H_2O)، وعلى ملوثات (أول أكسيد الكربون، والأكسيد الأحادي، والمركبات

العضوية المتطايرة، وأكسيد النيتريك، وثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت والـ PM-10 (مادة صغيرة هبائية)[2]. ويحول المبادل الحفزي لعادم السيارة حوالى 95 في المئة من هذه الملوثات إلى ماء وثاني أكسيد الكربون. ويحوي الضمخان على الأوزون (مكون من التفاعل الكيموضوئي لأكسيدات النيتروجين مع الهيدروكربونات)، وثاني أكسيد الكبريت والـ PM-10[3]. ويمكن لمزيج الضمخان أن يقتل البشر والنبات والحيوان[4].

ينتج الاحتراق المفتوح لوقود الكربونات قليل الجودة السخام والدخان والرماد، ووقوداً غير محترق ومواد كيميائية تحوي الكبريت، والكلور، والنيتروجين، والفلور، والمعادن. وتنتج النيران المفتوحة في أماكن ضيقة، غير مهواة، أول أكسيد الكربون السام. وتنتج الصين حالياً مزيداً من ثاني أكسيد الكبريت أكثر من أي دولة أخرى في العالم وهذا يخنق الناس، ويسبب أمطاراً حمضية، ويؤذي الحياة، ويدمر المباني. وتغطي «الغيمة البنية الآسيوية» مساحةً تعادل مساحة أستراليا، حيث تحجب الشمس عن بعض المدن الآسيوية الملوثة. ولها أثر شديد في صحة الإنسان. وتندفع في بعض الأوقات مباشرةً نحو المحيط الهادي، وتغطي النصف الشمالي من الكرة الأرضية. وليس ثاني أكسيد الكربون هو الذي يسبب هذا الضمخان، إضافةً إلى أنه لا يرى. ويسمح السخام الأقتم الذي يتساقط على الثلج والجليد بامتصاص مزيد من الطاقة الشمسية وقد يُساهم في ذوبان أسرع للجليد.

كان العالم الغربي غاطساً بتلوث جوي حتى نصف قرن مضى. وكان التلوث الدخاني بين عامي 1860 و1960 في لندن ومانشستر وبتسبرغ أعظم بكثير من الذي يحدث في بكين اليوم. ولقد سمّى تشارلز ديكنز (Charles Dickens) الضباب الكثيف في لندن على أنه شبيه بحساء البازلاء والـ «خاص بلندن»، وكان إدوارد الأول قد سنّ قانوناً عام 1272 لمحاولة التخلص من هذا الضباب.

---

(2) A. Charron and R. M. Harrison, «Primary Particle Formation from Vehicle Emissions during Exhaust Dilution in the Roadside Atmosphere,» *Atmospheric Environment*, vol. 37 (2003), pp. 4109-4119.

(3) J. P. Shi [et al.], «Sources and Concentration of Nanoparticles (< 10 nm diameter) in the Urban Atmosphere,» *Atmoshperic Environment*, vol. 35 (2001), pp. 1193-1202.

(4) D. W. Pope [et al.], «An Association between Air Pollution and Mortality in Six US Cities,» *New England Journal of Medicine*, vol. 329 (1993), pp. 1753-1759.

وكانت لندن تسمى «الدخان الكبير» لأنها كانت كذلك حقاً. فليس إلا قليل من أشعة الشمس يتمكن فقط من اختراق الجو. وكان الأطفال يصابون بمرض الرخد (كساح الأطفال) بسبب نقص أشعة الشمس، وكانت النباتات والحيوانات تموت، وانتشر التهاب الرئة. وكان الضمخان كثيفاً جداً حتى إن سائقي الباصات لم يتمكنوا من رؤية الأرصفة. وكان على المارة المشي بموازاة حافة الطريق مع ضوء لاكتشاف الطريق. وواجهت القطارات صعوبات، إذ لا يتمكن السائقون من رؤية الإشارات، وكانت صواعق المتفجرات توضع على خطوط السكة الحديدية للتحذير من أخطار ممكنة. وقد حجب الضباب الأسود عام 1952 الذي حفزه تغيير في درجة الحرارة فوق لندن الرؤية إلى عشرة سنتمترات، ومات أربعة آلاف لندني بمشكلات التنفس سببها ثاني أكسيد الكبريت. لهذا منع قانون الهواء النظيف في عام 1956 استعمال نيران مفتوحة مصدرها الفحم والخشب في المدن الكبرى. وأوقف استخدام الفحم الرخيص وكهرباء المفاعل النووي التلوث في بريطانيا. وربما سيحدث الأمر ذاته في آسيا.

لقد أصبح الجمهور بحق أقل تحملاً للتلوث، وجرى كثير من التقدم لتنظيف العالم الغربي. وترى الحكومات والإعلام وكثير من الناس ثاني أكسيد الكربون سبباً لتغير المناخ، وأن أصله بشري وهو ملوّث. وقد يبدو للشخص العادي أنه لم يعد هناك ضرورة للنقاش العلمي حول تغير المناخ. ولم يكن هناك أبداً أي نقاش شفاف عام صريح، ويبدو أن الوقت قد حان الآن.

علم المناخ

إن العلم مرتبط بالدلائل المستنبطة من الملاحظة، والقياس، والتجربة. والدلائل مليئة بشكوك صحية. ويتحدث العلماء عن الطرق، والدقة، والإعادة، وصحة جمع البيانات. وإذا أمكن إثبات البيانات، فإن الدلائل الجديدة هذه تنتظر الشرح. ويطلق على الشرح اسم النظرية العلمية. وينبغي ترك هذه النظرية العلمية أو تعديلها إذا لم يكن ممكناً تكرار الدلائل، أو إذا لم تكن الدلائل متناسبة مع دلائل مثبتة من قبل. وتترك النظريات أو تعدل مع ظهور دلائل جديدة. وتختبر الفرضية العلمية فكرةً ما بتجميع الدلائل وتحليلها. وتنقد الفرضية بمجرد وجود دليل واحد مناقض لها، بغضّ النظر عن الأمد الموجود في الدلائل المؤيدة لها. ويتقدم العلم مع ترك النظريات والفرضيات وابتكار شروح جديدة للدلائل المثبتة.

إن معظم العلماء فوضويون، لا يذعنون لأي سلطة، ويبنون استنتاجات مبنية على الدلائل. وتتغير هذه الاستنتاجات مع وجود مزيد من الدلائل. والعلم ليس جازماً ولا يوطد بالمطلق أي ظاهرة. ولا يمكن حل أمور العلم بالخبرة أو السلطة أو الإجماع. كما لا تتعلق الدلائل العلمية بالسياسة والأيديولوجيا والنموذجيات الشائعة، والآراء العالمية، والبدع، والآداب والأخلاق، والدين، والثقافة. وليس مهماً إن كان أحدهم من كندا أو من تشاد أو تشيلي، فالقياس العلمي لسرعة الضوء نحو 299,792.5 كيلومتراً في الثانية. وإن كنت بوذياً، أو بهائياً، أو معمدانياً، تبقى سرعة الضوء حوالى 299,792.5 كيلومتراً في الثانية. وإذا كان الجو مظلماً، تبقى سرعة الضوء 299,792.5 كيلومتراً في الثانية.

إن مستوى القبول العلمي للاحترار الكوني الذي يحدثه الإنسان يساء عرضه. كما إن ادعاء بعض العلماء أن خطر الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان مؤكد بنسبة 90 في المئة (أو حتى 99 في المئة) شكل من أشكال التعبير الذي يعكس التزام المتحدث بهذا الاعتقاد، وليس له أي قاعدة دلالية أو رياضية. وإن هذا مشابه للتأكيد 100 في المئة المعترف به عند المتعصبين الناذرين أنفسهم لمعتقدهم لدرجة أنه هو وليس سواه المعتقد الصحيح. كانت خبرتي في التعامل مع الحوارات المتعصبة ضد الابتكار «العلم» هي أن البيانات والمنطق كانت تعامل بعصبية، ورفض، وعداء. ولم تتم مخاطبة المناقشات العلمية. وقد يتطور الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان مع بعض البيئيين المتطرفين إلى نظام اعتقاد شبه مقدس. وهذا، كما أناقش في آخر فصل من هذا الكتاب، هو قريب من الإلحاد المنفصل عن الطبيعة، وقد تحرك لملأ فراغ روحي بتطور ببطيء في العالم الغربي. وتواجه البيانات العلمية والاستنتاجات المناقضة بعصبية ورفض وعداء. وبينما يذاع مزيد من هذه البيانات يُظهِر المدافعون عمّا هو متعذر تبريره سيناريوهات مروعة عن مستقبل المناخ.

أسس أرسطو مبدءاً عاماً عن الاستعلام العلمي يقول: «علينا أن نسعى نحو الحقيقة أولاً، ثم نسعى[5] نحو التفسيرات».

إن النموذج العلمي مشكل كمفهوم شائع حتى إن العلم المتعلق بالاحترار

(5) *Posterior Analytics* II, 1, 89b, 29-31.

الكوني موطد كعملية يوازن فيها المسؤولون بين كميات كثيرة من الآراء. هكذا الأمر. وإن الظاهرة مثبتة علمياً الآن لأن سلطات متنوعة وبعض العلماء يقول ذلك. ولم تعد الدلائل تهم الآن. ويتم تجاهل أي عمل مناقض ينشر في دوريات ندية. وقد قيل لنا إن العلم المتعلق بالاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان قد توطد. غير أننا لم نتقدم كثيراً منذ ورطة غاليليو المزعجة في 22 حزيران/ يونيو 1933.

ينقص علم المناخ نظاماً علمياً منضبطاً. فالدراسات عن جو الأرض لا تخبرنا بشيء عن المناخ في المستقبل. ويتطلب فهم المناخ دمج علم الفلك، والفيزياء الشمسية، والجيولوجيا، والتاريخ الجيولوجي، والكيمياء الجيولوجية، ودراسة الصخور الرسوبية، وفن البناء، وعلم الوجود البدائي، وعلم التبيؤ البدائي، وعلم الجليد، وعلم المناخ، وعلم الأرصاد الجوية، وعلم المحيطات، وعلم البيئة، والأركيولوجيا، والتاريخ. وهذا ما نحاول القيام به في هذا الكتاب.

وتكون الدلائل العلمية الأولية أحياناً معالجةً ومبسطة بنماذج الكمبيوتر. ويُذهل اعتماد رجال الاحترار الكوني الشديد على نماذج الكمبيوتر أولئك الذين لديهم تدريب علمي ضئيل. غير أن المعالجة المهمة لبيانات المصدر ونقص استعمال كثير من المتغيرات المعروفة يحدث نتاجاً غير أكيد. ولا يمكن استعمال البيانات العلمية التي لم تكتشف في نموذج. وإنه من السهل جداً على صانع النموذج أن ينتج النتاج المقدور قبل تشغيل النموذج. وإن هذا خطأ شائع في صنع النماذج الرياضية. فالنموذج ليس حقيقياً والنماذج ليست دلائل. ولا تثبت النماذج الزائفة والإسقاطات والتوقعات شيئاً. فكل ما يظهره النموذج هو أمر يتعلق بالنموذج ذاته وصانعيه، وتكون تلك حدودهم عادةً. وينص **التلمود**: «إننا لا نرى الأمور كما هي، بل نراها مثلما نحن عليه».

إن تجميع البيانات في العلوم منبثق من الملاحظة، والقياس والتجربة، وليس من صنع النماذج. فلا نستطيع أن نجعل الطبيعة تطابق نماذج الكمبيوتر الافتراضية. وتحدث الكوارث المناخية باستمرار، وبغضّ النظر عن النماذج المستعملة، فسوف تستمر في الحدوث. إن تجميع البيانات العلمية الجديدة عن طريق الملاحظة والقياس والتجربة لم يعد أمراً مستعملاً. فالأمر الشائع الآن هو استعمال بيانات شخص آخر في العالم الافتراضي لنموذج كمبيوتر، والمشكلة هي أن العالم

الافتراضي ليس مرتبطاً بالعالم الحقيقي، وبخاصة أن الطبيعة متقلبة جداً.

تختلف الملاحظات في الطبيعة اختلافاً ملحوظاً عن النتائج التي تولدها حوالى دزينتين من نماذج المناخ. وتبالغ نماذج المناخ هذه في آثار إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون في الجو لأن قليلاً من المتغيرات الطبيعية يتم اعتبارها.

ماذا حذف فعلاً من هذه النماذج للوصول إلى استنتاجات لا تتوافق مع الملاحظات في الطبيعة؟

ما هي الآليات الطبيعية التي تتحكم بالمناخ؟

كيف يمكن توقعها؟

لم يدخل صانعو نماذج التأمين في حسابهم طائرتي البوينغ 767 اللتين دمرتا مركز التجارة العالمي. ولم يتوقع صانعو النماذج المالية الأزمة المالية العالمية التي بدأت عام 2008. إن الأنظمة الطبيعية أكثر تعقيداً بكثير، وإنه من السذاجة أن نفكر أن نموذجاً يمكنه أن يتخيل أحداث المستقبل على الأرض. كما إن محاولة توقع المستقبل بناءً على متغير واحد (ثاني أكسيد الكربون) في أنظمة طبيعية معقدة كثيراً أمر أحمق. وتعمل اتجاهات الحرارة العالمية المعاصرة أفضل ما عندها لتظهر لنا أن ثاني أكسيد الكربون ليس محركاً للمناخ.

يمكن اختبار الفرضية القائلة إن إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون الذي يحدث احتراراً كونياً يمكن قياسه. هكذا يَعمَل العلم. وتظهر قياسات درجة الحرارة التي تستعمل موازين حرارة مبنية على القاع ومسبارات الراديو المعلقة في الهواء كالبالونات ووحدات الحس قصيرة الموجات المرفوعة، كالأقمار تظهر أنه لم يحدث احتراراً منذ عام 1998. عند اعتبار أثر «جزيرة الحرارة المدينية» مع موازين الحرارة وإل نينو (El Niño) لعام 1998، كان هناك قليل من الاحترار منذ عام 1979. وازداد ثاني أكسيد الكربون الجوي خلال هذه المدة. وتتوقع نماذج المناخ التي تستعمل ثاني أكسيد الكربون المتزايد الاحترار المكثف والمتزامن في كلا القطبين، غير أن هذا لم يحصل في الأزمنة المعاصرة ولا في الأزمنة القديمة. ويظهر اختبار الفرضية أعلاه أن ليس هناك علاقة بين درجة الحرارة المقاسة وإصدارات ثاني أكسيد الكربون. فتسقط الفرضية.

هناك كثير من الأسئلة والأجوبة في هذا الكتاب.

فهل هناك سابقة لسرعة تغير المناخ المعاصر ومداه حقاً؟

هل يحدث احترار خطير؟

هل يخرج مدى درجة الحرارة الملاحظ في القرن العشرين عن نطاق التغير الطبيعي؟

هل تغير البراكين في المناخ؟

هل تغير ذبذبات مدار الأرض المناخ؟

هل سببت تغيرات المناخ في السابق انقراضاً؟

هل ترفع إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون مستوى سطح البحر؟

هل ستصبح البحار حمضية؟

هل يقضي ارتفاع مستوى سطح البحر على الجزر المرجانية؟

هل يدفع الإنسان باتجاه إحداث تغيرات في تيارات المحيط؟

هل يُسبب درجات حرارة البحر مزيداً من الأعاصير؟

هل يذيب الاحترار الكوني قمم الثلوج القطبية وجليد أودية جبال الألب؟

هل تؤثر الشمس في مناخ الأرض؟

هل تؤثر القوى خارج الكرة الأرضية في مناخ الأرض؟

ما الذي أوقف ارتفاع درجة الحرارة بكثرة في الماضي حتى أصبحت الأرض غير قابلة للعيش؟

لماذا تستمر إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون بالازدياد، على الرغم من أن الحرارة بدأت بالانخفاض منذ عام 1998؟

لماذا تنخفض الحرارة في القطب الجنوبي بينما ترتفع الحرارة في غرينلاند والعكس صحيح، على الرغم من الانتشار المتوازي لثاني أكسيد الكربون فوق الكرة الأرضية؟

هل يمكن الاعتماد على قياس الحرارة وقياس ثاني أكسيد الكربون؟

كيف يعمل أثر الدفيئة؟

من أين يأتي ثاني أكسيد الكربون؟

إلى أين يذهب ثاني أكسيد الكربون؟

إن الأمر الذي تَعلمته على مدى أربعين عاماً أمضيتها في العلوم هو أن المفاجآت تزداد. فعندما أنظر إلى تاريخ كوكب الأرض، لن تفاجئني مفاجئة بعد الآن. فالمستحيل يحدث.

إن حياة القرارات السياسية المبنية على عبارة «توطد العلم» قصيرة ضمناً.

لماذا اللجنة الدولية للأمم المتحدة من أجل تغير المناخ؟

يعتبر جوزيف فورييه (Josephe Fourier) أن الغلاف الجوي للأرض يصد السخونة التي تشعها الشمس. وقال جون تيندال (John Tyndall) إن غازات الدفيئة في الغلاف الجوي هي التي لديها هذه الخاصية فحسب. ويشكل بخار الماء 95 في المئة من «أثر الدفيئة»، يتبعه ثاني أكسيد الكربون (3.62 في المئة)، وأكسيد النيتروس (0.95 في المئة)، والميثان (0.36 في المئة) وغيرها (0.07 في المئة).

حاول الكيميائي السويدي سفانت آرهنيوس (Svante Arrhenius) أن يحسب أثر ثاني أكسيد الكربون الذي أضيف إلى الجو بحرق الوقود المتحجر. وحسب أنه إذا تضاعف ثاني أكسيد الكربون الجوي، فسوف ترتفع درجة الحرارة خمس درجات مئوية. وكان مخطئاً.

بسبب الاحترار الذي حدث في عشرينيات القرن العشرين وثلاثينياته، قال عالم الأرصاد الجوية الإنجليزي غي تشالندر (Guy Challender) في عام 1938 إن ارتفاع الحرارة قد يكون بسبب إطلاق ثاني أكسيد الكربون في الجو بفعل النشاط البشري. وقال تشالندر إن ثاني أكسيد الكربون المتزايد سيكون حسناً للزراعة. وكان على حق. كما قال إن ثاني أكسيد الكربون قد يخمد آثار العصر الجليدي القادم الذي لا مفر منه[6]. وما أن قال تشالندر إن ثاني أكسيد الكربون كان جيداً للبشر حتى بدأ المناخ يبرد (1940 ـ 1976). حذرت مجلة **تايم** (*Time Magazine*) في 24 حزيران/ يونيو 1974 من أننا قد نعاني عصراً جليدياً جديداً، كما فعلت **مجلة نيوزويك** (*Newsweek Magazine*) (28 نيسان/ أبريل

(6) G. S. Challender, «The Artificial Production Of Carbon Dioxide and its Influence on Climate,» *Royal Meteorological Society Quarterly Journal*, vol. 64 (1938), pp. 223-240.

1975) ومجلة **ناشيونال جيوغرافيك** (*National Geographic*)[7] عام 1976 وعادت مجلة **تايم** إلى الموضوع نفسه في 3 نيسان/أبريل 2006. وكان ذلك العدد يحوي تقريراً خاصاً عن الاحترار الكوني. وكانت آثار الابتراد الكوني المتوقع في البشر عام 1974 هي نفسها آثار الاحترار الكوني في البشر عام 2006. وقد ألف عالم المناخ ستيفن شنايدر (Stephen Schneider) بالاشتراك مع غيره كتاباً عام 1977 يحذرنا فيه من رعب العصر الجليدي الجديد[8]. وإنه يحذرنا الآن من رعب الاحترار الكوني. ويقول في كتاب لويل بونتي (Lowell Ponte) في عام 1975 عن الابتراد[9]:

يمثل الابتراد الكوني أهم تحد اجتماعي وسياسي وتكيفي كان علينا أن نتعامل معه مدة 110,000 عام. إن رهانكم في القرارت التي نتخذها على أن أهميته قصوى: بقاؤنا، وبقاء أطفالنا وجنسنا البشري.

علينا أن نستبدل كلمة «احترار» بكلمة «ابتراد» فحسب، فنحصل على إخطار مماثل، بعد ثلاثين عاماً. وفي هذه الأثناء، يرفض المناخ بعند أن يتعاون مع نماذج الكمبيوتر وكتّاب المقالات وكتب الإخطار الشائعة.

وقد كان القلق الكبير، خلال الحرب الباردة هو أن ترسانة الأسلحة النووية في الاتحاد السوفياتي والولايات المتحدة الأميركية كافية للقضاء على جميع البشر على وجه الأرض لمرات عديدة. وكانت المجموعات البيئية وقتئذ هي المجموعات المناهضة للأسلحة النووية. وصار صعباً على المجموعات البيئية بعد نهاية الحرب الباردة أن يجذبوا الانتباه. وكان كثيرون يبحثون عن مشكلة عالمية جديدة ليعالجوها. وقد أعطى تأسيس الأمم المتحدة اللجنة الدولية من أجل تغير المناخ IPCC عام 1998 فرصةً لجعل الاحترار الكوني موضوع المجموعات البيئية الرئيسي. وكان لهذا الموضوع القدرة على جذب الاهتمام العام، وقد تم ذلك. كان كريسبن تيكل (Crispin Tickell)، من جماعة

(7) S. W. Matthews, «What's Happening to our Climate?,» *National Geographic*, vol. 150 (1976), pp. 5576-5615.

(8) S. Schneider and L. E. Mesirow, *The Genesis Strategy: Climate and Global Survival* (New York: First Delta, 1977).

(9) L. Ponte, *The Cooling Has the Next Ice Age Already Begun? Can we Survive it?* (New York: Prentice Hall, 1975).

الضغط لتأسيس الهيئة، هو الممثل الدائم للمملكة المتحدة في الأمم المتحدة. ونشر من قبل كتاباً[10] عن أخطار الابتراد الكوني، وأصبح الآن يحذر من أخطار الاحترار الكوني.

تم تأسيس IPCC تحت رعاية منظمة الأرصاد الجوية العالمية التابعة للأمم المتحدة وبرنامج البيئة لديها. ولما كان الاحترار الكوني موضوعاً حاداً، ناقشته في عام 1989 لجنة مجلس الشيوخ الأميركي للعلوم والتكنولوجية والفضاء التي يرئسها السناتور آل غور (Al Gore). واستمعت اللجنة إلى إذعانات من الدكتور روجر ريفيل (Dr. Roger Revelle) (الذي دَرَّس آل غور في جامعة هارفرد) والدكتور جيمس هانسن (Dr. James Hansen) (مدير، مؤسسة غودارد لدراسات الفضاء لـ Goddard Institute for Space Studies). وادعى هانسن أن الصيف الحار عام 1988 كان سببه الاحترار الكوني. وكان صيف 1988 جافاً، والنيران تأتي على حديقة يلوستون (Yellowstone) الوطنية وكانت مدينة واشنطن حارة جداً. وكانت غرفة استماع مجلس الشيوخ حارةً وفاسدة الهواء. وأعلن هانسن في استماع مجلس الشيوخ، «بمقدار عال من الثقة»، أن الاحترار الكوني قد جاء[11]. وتم رفض الدلائل التي تحث على الاحتراس، وأن في العلم خلافاً[12].

تم إنشاء محطة تلفزيونية بشأن المناخ، وذهب الإعلام في سنوات من الصخب بشأن الاحترار الكوني، وركب أصحابنا المسافرون هذه الموجة الاستعراضية في كل فرصة. لقد أصبح الأمر شائعاً، وبخاصة بين خبراء المناخ مثل روبرت ردفورد (Robert Redford)، وباربرا سترايساند (Barbra Streisand)، ومريل ستريب (Meryl Streep) وعدد كبير من نجوم الاستعراض. وذهب آل غور من قوة إلى قوة، في مهاجمة أولئك الذين لهم آراء علمية أخرى. قارن آل غور في **النيويورك تايمز** (*New York Times*) بين «المؤمنين حقاً مثله»، وغاليليو الذي وقف بشجاعة للحقيقة في وجه المعتقدات التقليدية العمياء وقتها.

---

(10) C. Tickell, *Climate Change and World Affairs* (Lanham, MD: University Press of America, 1977).

(11) R. A. Kerr, «Pushing the Scary Side of Global *Warming,» Science*, vol. 316 (2007), pp. 1412-1415.

(12) R. S. Lindzen, «Global Warming: The Origin and Nature of the Alleged Scientific Consensus,» *Proceedings of the OPEC Seminar on the Environment*, 13-15 April 1992 (1992).

جمعت IPCC عدداً من علماء المناخ، وعلماء الأرصاد الجوية، والبيئيين، والناشطين السياسيين ونشرت منشورات وتقارير كثيرة، كان أولها عام 1990. وتضمنت هذه التقارير تقريراً علمياً من ثلاثة أقسام تحت عناوين IPCC الموجهة. وكان عند ثلاث مجموعات عمل مؤلفون ساهموا بسلسلة من الفصول تحت إرشاد مؤلفين قياديين ومؤلف فصل قيادي. يوصف هؤلاء الناس بالخبراء العلميين الـ 2500 الذين يشكلون إجماعاً.

كان هناك مؤلف ساهم في تقرير عام 1996 عن أثر الاحترار الكوني في الصحة، وكان خبيراً بمدى أثر خوذات ركاب الدراجات النارية، كما كتب عن الآثار الصحية للهاتف النقال. وكان ثمة مؤلفون آخرون نشطاء بيئة، كتب أحدهم عن الآثار الصحية للتسمم الزئبقي من الألغام الأرضية. وإذا انفجر لغم أرضي، فإن آخر ما يفكر به المرء هي الآثار الصحية للتسمم الزئبقي. لقد تم التعامل بخبرة في تقرير عام 2007 مع الآثار الصحية للاحترار الكوني من قبل مؤلفين قياديين، كان أحدهما من علماء الصحة، وكان الآخر مختصاً في الروث المتحجر (Copolites). ولم يكن عند أولئك الذين دفعوا إلى نشر الفصول عن الآثار الصحية للاحترار الكوني خبرة صحيحة في مادة الفصول، وبخاصة الأمراض الاستوائية[13]. وقد تجاهل مؤلفون قياديون آخرون لا خبرة لهم في هذا الحقل الآراء الخبيرة لعلماء الأمراض الاستوائية.

المرحلة الثانية لعملية IPCC هي أن مسودة «خلاصة لصانعي السياسة» (Summary for Policymakers) قد سلمت للحكومات، وكلٌ منها يمكنه أن يصر على تغييرات. تتخذ هذه التغييرات عادة وراء الكواليس، وليس لدى العلماء الذين كتبوا هذه المجلدات الضخمة سبيل إلى الاعتراض على التغييرات السياسية، وتشكل المسودة الأخيرة للخلاصة أساس عملية التفاوض بين بعض العلماء والسياسيين القياديين. وهذه ليست عملية تُجرى في العلوم، كما إنها ليست عملية مراجعة ينعم النظر فيها. إنها عملية السياسة. أظهر رئيس IPCC، راجندرا باشوري بطاقاته مع صدور «خلاصة لصانعي السياسة» لعام 2007. «أتمنى أن تُصدم هذا الحكومات كثيراً حتى يتخذوا إجراءاً».

(13) P. Reiter, «Written Evidence to the House of Lords Select,» in: House of Lords, Select Committee on Economic Affairs, *The Economics of Climate Change* (London: Stationery Office, 2005).

إن عملية IPCC تتعلق بالفاعلية البيئية، والسياسة، والانتهازية، ولا علاقة لها بالعلوم.

على الرغم من أنه قد شاع عن 2500 عالم أنهم كتبوا التقرير التقويمي الرابع للـ IPCC، ويُظهِر حساباً لعدد الرؤوس المشاركة، أنه كان هناك 1656 كاتباً وقد كتب كثير منهم أجزاءاً كثيرة من التقرير. واستعمل بعضهم اسمهم المعطى في جزء، واستعملوا بداية الاسم في جزء آخر، واستعملوا اختصاراً في جزء غيره. وإذا بحثنا في السير الذاتية لعلماء المناخ الـ 2500، وجدنا أن كثيرين منهم ليسوا علماء. وإن الادعاء القائل إن هذه المجموعة المكوّنة من 2500 شخص تمثل قمة علماء العالم ليس صحيحاً. ويبدو أن كثيرين من الـ 1190 شخصاً الذين كتبوا القسم العلمي من التقرير لم يكونوا علماء وإنما كانوا ناشطين سياسيين وبيئيين.

لهذا كانت الخلاصة مختلفةً اختلافاً مهماً وجوهرياً في نواح رئيسية عن التقرير العلمي الرئيس. والخلاصة هي الأكثر قراءةً، إضافةً إلى أنها الأكثر نشراً وذكراً في عدة تقارير للـ IPCC. لقد كانت خلاصة لصانعي السياسة، باستعمالها الرأي «العلمي» الخبير في الفصل الذي يتحدث عن الآثار الصحية للاحترار الكوني، قادرة على القول الصريح: «سيكون لتغير المناخ آثار واسعة الأمد ومعاكسة مع فقدان بارز للحياة».

توقعت الخلاصة أن 60 في المئة من البشر كانوا عرضة للملاريا، ما أدى إلى زيادة 50 ـ 80 مليون حالة في العام. وكان هذا مخالفاً لرأى خبير تجاهلته IPCC.

أعطت تقارير IPCC حملات الاحترار الكوني زخماً شديداً. وقد جذبت قمة الأرض عام 1992 في ريو دي جانيرو 20.000 ناشط بيئي من حول العالم وسياسيين من 170 دولة. والله أعلم كم كلفت هذه القمة ومقدار كمية ثاني أكسيد الكربون الذي أضافته إلى الجو من قبل أولئك الذين تطوعوا لجعل اهتماماتنا في الصميم. وكان غور هو البطل، ونشر كتابه **الأرض في الميزان** (*Earth in the Balance*)، فساعد كل ذلك على ترشيحه لمنصب نائب الرئيس.

اتضحت تقارير IPCC أكثر. وادعت «خلاصة لصانعي السياسة» لعام 1996: «أن ميزان الدلائل يدل على أن ثمة أثراً بشرياً بيّناً على المناخ العالمي».

وجعلت هذه العبارة، المأخوذة من فصل علمي (الفصل الثامن)، الإعلام

يذهب إلى العناوين المحذرة، وزاد البيئيون من ضغطهم على الحكومات، وأصبح الجمهور مقتنعاً أن مجموعة العلماء المهيبة في IPCC أعطت رأياً مجمعاً عليه ومعتبراً. غير أن الأمر الذي لم يكن معروفاً هو أنه بعدما أعلن كتاب الفصل الثامن من انتهائه، أضاف كاتب ريادي العبارة أعلاه عن «الأثر البشري القابل لأن يرى» وحذف مقاطع من الفصل الثامن التي قالت[14][15][16]:

لم تظهر أي من الدراسات المذكورة أعلاه دلائل واضحة يمكننا بواسطتها أن ننسب التغيرات الملاحظة إلى السبب المحدد لتزايد غازات الدفيئة.

ولم تنسب دراسة حتى الآن بإيجابية جميع (تغيرات المناخ الملاحظة) أو جزءاً منها إلى أسباب من صنع الإنسان.

وإن أي ادعاء بكشف إيجابي أو نسبة إلى تغيّر مناخ بارز سيبقى مثيراً للجدل حتى ينخفض الشك في المتغير الطبيعي الكلي لنظام المناخ ومتى سيحدد أثر أنثروبوجيني (Anthropogenic) (مسبب عن الإنسان) في المناخ؟ وإنه ليس بالأمر المفاجئ أن تكون الإجابة عن هذا السؤال هي «أننا لا نعرف».

أضاف الكاتب الريادي مَراجع لعمله أظهرت «احتراراً» من عام 1943 إلى 1970[17]. غير أنه عندما حلل آخرون مجموعة كاملة من البيانات من عام 1905 إلى ما بعد 1970، لم يروا أي احترار[18]. وكان أن نشرت جريدة **وول ستريت** (*Wall Street Journal*) افتتاحية[19] لاذعة عرّف فيه عملية IPCC (التمويه في البيت الزجاجي)، ومقالاً حاداً[20] كتبه الرئيس السابق للأكاديمية الوطنية للعلوم عنوانه «الخدعة الكبيرة عن الاحترار الكوني».

---

(14) C. R. De Freitas, «Are Observed Changes in the Concentration of Carbon Dioxide in the Atmosphere Really Dangerous?,» *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, vol. 50 (2002), pp. 297-327.

(15) S. Fred Singer and Dennis T. Avery, *Unstoppable Global Warming: Every 1,500 Years* (Lanham, MD: Rowman & Littlefield Publishers, 2007).

(16) Christopher Booker and Richard North, *Scared to Death: From BSE to Global Warming: How Scares are Costing us the Earth* (London; New York: Continuum, 2007).

(17) B. Santer [et al.], «A Search for Human Influences on the Thermal Structure of the Atmosphere,» *Nature*, vol. 382 (1996), pp. 39-46.

(18) P. J. Michaels and P. C. Knappenburger, «Human Effects on Global Climate,» *Nature*, vol. 384 (1996), pp. 522-523.

(19) *Wall Street Journal* (11 June 1996).

(20) *Wall Street Journal* (12 June 1996).

واستمرت الـIPCC بادعائها إجماع العلماء على الرغم من حقيقة أن نشرة الأمم المتحدة في تغير المناخ عام 1996 قالت إن 10 في المئة من أربعمئة باحث أميركي وكندي وألماني في علم المناخ فقط عبّروا عن توافق شديد بأنهم «واثقين من أن الاحترار الكوني عملية جارية»، وقال 48 في المئة من الذين سئلوا إنهم لا يؤمنون بنماذج التنبؤ للمناخ العالمي[21]. وتم تأكيد هذه النتيجة عام 1997 بمسح لعلماء المناخ الذين وظفتهم خمسون ولاية في الولايات المتحدة الأميركية[22]. غير أن IPCC والإعلام ما زالا يدعيان الإجماع كدعم لنتائجهما.

إن إحدى المشكلات الملازمة التي واجهها IPCC هي العصر الجليدي الصغير (1280 ـ 1850) واحترار العصور الوسطى (900 ـ 1300). وقد بينت دلائل من عدد متنوع من المصادر أن درجة الحرارة العالمية خلال احترار العصور الوسطى، كانت أعلى ببضع درجات من اليوم. وشكل ذلك مشكلةً للـ IPCC إذ لم تكن هناك صناعات رئيسية تصدر ثاني أكسيد الكربون في ذلك الزمن. وكان الحل بسيطاً وممتازاً ـ «غيّروا التاريخ». ووفقاً للمقولة إن العدم لا يولّد إلا العدم تمّ استصدار رسم بياني عُمُداني (شبيه بعصوات الهوكي) أظهر أن العصر الجليدي الصغير واحترار العصور الوسطى لم يحدثا، وأن درجة الحرارة بدأت بالارتفاع ارتفاعاً مفاجئاً في أوائل القرن العشرين، وبدا واضحاً أن ذلك كان نتيجة التصنيع. وفي نسخة عام 2001 لتقرير IPCC، استعمل منحني «عصا الهوكي» مرة أخرى كإثبات أنه حكم علينا جميعاً بالقلي ونحن سبب ذلك. وقد ألقي الضوء على ذلك في الصفحة الأولى في «خلاصة لصانعي السياسة»، وظهر أربع مرات أخرى في «خلاصة لصانعي السياسة» لعام 2001. وكان قصد IPCC واضحاً. وجن الإعلام، وكانت الحكومات تحت ضغط أشد مارسته عليها مجموعات الضغط البيئية، وازدادت القوة الماحقة للاحترار الكوني في عزمها. وتطلب الوقت ثماني سنوات كي يتبين أن «عصا الهوكي» كانت حيلة[23]. وسحبت IPCC، من دون توضيح، بهدوء «عصا الهوكي» من «خلاصة لصانعي

(21) M. Parry [et al.], «Adapting to the Inevitable,» *Nature*, vol. 395 (1998), doi: 10.1038/27316.

(22) Br D. Bray and H. von Storch, «Climate Science: An Empirical Example of Postnormal Sscience,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 80 (1999), pp. 439-456.

(23) D. Holland, «Bias and Concealment in the IPCC Process: The «Hockey Stick» Affair and its Implications,» *Energy and Environment*, vol. 18 (2007), pp. 951-983.

السياسة» في منشورات لاحقة، ودفنتها في فصل علمي من تقرير عام 2007[24].

يستنتج كثيرون من صانعي السياسة والمجموعات البيئية والإعلام أن «خلاصة لصانعي السياسة» التابعة للـ IPCC هي في الحقيقة الرأي المُجمَع عليه عند عدد كبير من العلماء. ولكن الأمر ليس كذلك، بل إنه إجماع الحكومات مع تنوع كبير من جداول الأعمال. وفي أوقات معينة، تعزز الحيلة «خلاصة لصانعي السياسة»، ولا تكتشفها مهيجات البيئيين ولا الصحافيون أو الجمهور.

إن IPCC منظمة سياسية وليست علمية يُوطِّد فيها الناشطون البيئيون وممثلو الحكومات جدول الأعمال، لعدد من الأسباب بما في ذلك التجارة المدعومة، فيحثون على الحماية، وإضافة أسعار للمنافسين لتسهيل تمرير بعض المصالح.

تغير المناخ

يمكن اختصار تغير المناخ بما يأتي:

(أ) لقد كان مناخ الأرض في تغير دائم مع دورات الاحترار والابتراد بفترة طويلة قبل ظهور الإنسان على الأرض. وإن كثيراً من الدورات المتداخلة تتراوح بين 143 مليون عام و11.1 مليون عام. وقد تتأثر هذه الدورات بشدة بعمليات متقطعة لا يمكن توقعها مثل البراكين.

(ب) كان الاحترار الكوني المقاس في العالم الحديث غير مهم مقارنةً بهذه الدورات الطبيعية.

(ج) على الرغم من أنه يمكن للزيادات التي يسببها الإنسان من ثاني أكسيد الكربون الجوي أن تساهم نظرياً في ارتفاع درجة الحرارة، فإن علاقات كهذه لم تثبت، وهناك دلائل كافية لنقضها.

(د) إن درجة الحرارة، خلافاً لدزينتين من نماذج الكمبيوتر المختلفة، لم تزدد في العقد الماضي، على الرغم من الزيادة المتسارعة لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بسبب النشاط البشري.

(هـ) يبدو أن لعوامل أخرى مثل السيرورات الأرضية الرئيسية، والنشاط

(24) Chapter 6, as one of the Reconstructions of Past Climate.

الشمسي المتغير، والرياح الشمسية والأشعة الكونية أثراً أكثر أهمية في مناخ الأرض مما كنا قد ظنناه من قبل. ولم تظهر IPCC أن الشمس ليست ملامةً في الاحترارات والابترادات الحديثة.

(و) لقد تأقلم الإنسان للعيش ضمن مستوى سطح البحر، وضمن الارتفاع، وعلى صفائح الجليد، وفي المناطق الاستوائية والصحاري. وسيتأقلم الإنسان، كما تأقلم في الماضي، مع احترارات وابترادات في المستقبل.

تغيرات المناخ	
العصر الجليدي البلستوسيني (ذو علاقة بالعصر الحديث الأقرب) (جي)	110,000 - 14,700bp
بولينغ	14,700 - 13,900bp
درياس الأقدم	13,900 - 13,600bp
ألاود	13,600 - 12,900bp
درياس الأصغر	12,900 - 11,600bp
احترار هولوسين أ	11,600 - 8,500bp
التبريد المصري	8,500 - 8,000bp
احترار هولوسين ب	8,000 - 5,600bp
التبريد الأكدي	5,600 - 3,500bp
الاحترار المينواني (ذو علاقة بحضارة جزيرة اقريطش (كريت) القديمة	3,500 - 3,200bp
تبريد العصر البرونزي	3,200 - 2,500bp
الاحترار الروماني	500BC - 535AD
العصور المظلمة	535AD - 900AD
احترار العصور الوسطى	900AD - 1300AD
العصر الجليدي الصغير	1300AD - 1850AD
الاحترار المعاصر	1850AD - .....

bp= قبل سنين من الآن

الشكل 2: دورات الابتراد والاحترار المتبادلة للمناخ منذ العصر الجليدي الأخير. وضمن جميع الموازين، إن المناخ دوري والاحترارات العديدة الماضية حدثت قبل عصر التصنيع. وسنتمكن خلال بضعة عقود من تحديد ما إذا كان الاحترار الذي حدث في أواخر القرن العشرين (الاحترار المعاصر) قد انتهى مع إل نينو (El Niño) عام 1998.

سمح المناخ الدافئ لغرينلاند قبل ألف عام بنمو النبات المنتج للحبوب،

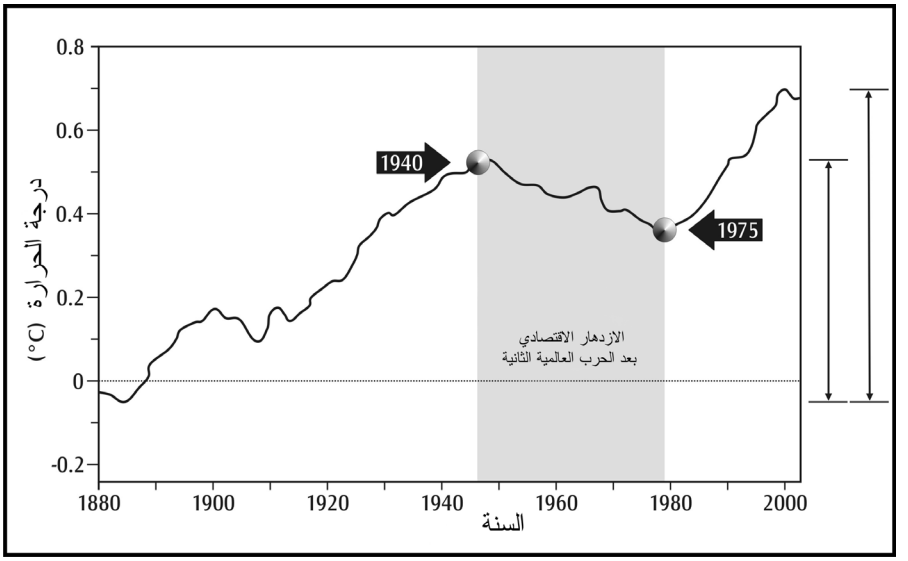
وعيش الغنم والماشية. ولا يمكن لهذا المناخ الدافئ أن يكون نتيجة إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون. وبعد بضع مئات من السنين، لم يكن ممكناً للطقس البارد جداً في العصر الجليدي الصغير أن يكون قد نشأ من انخفاض لإصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون. لابد أن هناك أسباباً أخرى للاحترار والابتراد. وكيف يمكننا أن نعرف أن الاحترار الخفيف منذ عام 1850 سببه إضافات الإنسان لثاني أكسيد الكربون للجو؟ إضافةً إلى أنه كانت هناك ابترادات منذ 1850. لا بد أن هناك عمليات طبيعية أخرى تمّت على مدى واسع ولا تزال تعمل، والسؤال الذي يجب أن نسأله هو: هل لثاني أكسيد الكربون الجوي علاقة بالمناخ؟

إذا كان ثاني أكسيد الكربون الناشئ من التصنيع الحديث هو المتهم بالاحترار الكوني، فلماذا زادت درجة الحرارة العالمية بين عامي 1918 و1940، وانخفضت بين عامي 1940 و1976، وازدادت من عام 1976 إلى 1998، وانخفضت من عام 1998 حتى الآن؟ كان الإنسان خلال هذه الفترة، يضيف كميات متزايدة من ثاني أكسيد الكربون إلى الجو. ولا تشرح IPCC اختلاف درجة الحرارة في القرن العشرين. وكان ثمة إنذار في سبعينيات القرن العشرين بأن انخفاض درجة الحرارة يعني الإعلان عن عصر جليدي آخر. وكان هذا درساً مهماً لم نتعلم منه شيئاً. وبدأت درجة الحرارة بالارتفاع بعد عام 1976، وكان ثمة إنذار مرةً أخرى، ستكون هناك هذه المرة فترة من الاحترار الكوني. ثم بدأت درجات الحرارة بالانخفاض بعد عام 1998. وجاء الآن هدوء. ولا يمكن التوقع بنماذج الكمبيوتر أن المناخ سيتغير للفترة 2040، 2100، أو 2300 بناءً على بضع عقود من البيانات.

إذا غيرنا ميزان الزمن ونظرنا إلى ست ملايين عام أخيرة مضت، كان الجو أدفأ من الآن لفترة الثلاثة ملايين عام الأولى. وفي الثلاثة ملايين عام الثانية، كان هناك ارتفاع في مقدار التكرر العالي لدورات الابتراد والاحترار. وكان المناخ أدفأ بخمس درجات مئوية من الآن خلال دورات الاحترار الثلاث الأخيرة. وكانت تغيرات المناخ الطبيعية الماضية دوريةً في جزء منها ولا يمكن توقعه في الجزء الآخر ولا علاقه له بإضافات الإنسان لثاني أكسيد الكربون في الجو.

لماذا تتعلق تغيرات درجة الحرارة الخفيفة في حياتنا بإضافات ثاني أكسيد

الكربون في الجو بينما لا يمكن أن تكون هناك علاقة بين تغيرات المناخ الشديدة والخفيفة الماضية والتصنيع؟



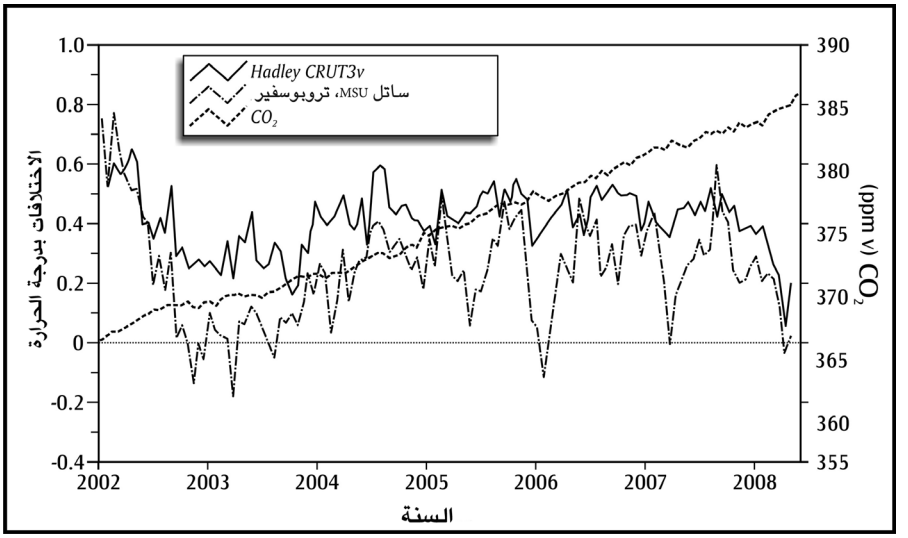
الشكل 3: تظهر قياسات ميزان درجة الحرارة في القرن العشرين الاحترار والابتراد. وكان الابتراد خلال مرحلة التصنيع في الحرب العالمية الثانية وما بعدها حيث صدرت كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون في الجو. وإن القرن العشرين، مثل أي فترة أخرى، احتوى على احترار وابتراد.

ليس ثمة مشكلة مع الاحترار الكوني، فقد توقف عام 1998، ومحت السنتان الأخيرتان الماضيتان للابتراد العالمي ثلاثين عاماً من الزيادة في ارتفاع درجة الحرارة تقريباً.

كان عام 2008 بارداً استثنائياً[25]. ومع نهاية شهر كانون الثاني/ يناير 2008، قتلت العواصف الثلجية العنيفة ودرجات الحرارة الباردة في الصين ستين شخصاً، وفقد ملايين الناس خدمات الكهرباء، وتضرر نحو مليون مبنى، وأغلقت المطارات، وكان لهونغ كونغ ثاني أطول موجة باردة منذ عام 1885. ودمّر الطقس البارد في شباط/ فبراير 2008، 40 في المئة من محصول الأرز في

(25) <http://www.washingtontimes.com/news/2008/dec/10/global-warming/freeze>.

فيتنام، وقتل 33,000 رأس من الدواجن. وسجلت في مومباي (الهند) أخفض درجة حرارة منذ أربعين عاماً. وسجلت **إنترناشونال فولز** (*International Falls*) (مينيسوتا) في الولايات المتحدة الأميركية سجلاً جديداً (ـ 40 درجة مئوية) محطمةً السجل القديم (ـ 37 درجة مئوية) عام 1967. وفي ريدنغ (Reading) (في بنسلفينيا) بقيت درجة الحرارة أقل من ـ 40 درجة مئوية لستة أيام متتالية لأول مرة منذ القرن الثامن عشر. وتضخمت الأنهار الجليدية في ألاسكا. وفي 29 تشرين أول/أكتوبر 2008، حطمت الولايات المتحدة الأميركية 115 سجلاً من درجات الحرارة المنخفضة في ذلك التاريخ. ووصلت درجة الحرارة في ألاسكا، التي كانت دافئةً عادةً عام 2007، إلى ـ 32 درجة مئوية في تلك الليلة، محطمةً السجل القديم بدرجتين.



الشكل 4: تحديد درجة الحرارة (الميزان والقمر الصناعي) في مركز هادلي وجامعة ألاباما (هنتسفيل) يظهر انخفاضاً في درجة الحرارة العالمية مع بداية القرن الحادي والعشرين. ويزداد، نقيضاً لذلك، ثاني أكسيد الكربون الجوي، ويظهر بالتالي عدم وجود علاقة بين درجة الحرارة العالمية وثاني أكسيد الكربون. يظهر هذا الرسم البياني عدم صلاح فرضية إحداث إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون للاحترار الكوني.

وفي الأسبوع الأول لكانون الأول/ديسمبر، عام 2008، أغلقت العواصف الثلجية العنيفة الطرقات والمدارس في شمال إنجلترا واسكوتلندا. وغطيت أجزاء كبيرة من المملكة المتحدة بالثلج للمرة الثالثة في شتاء 2008 ـ 2009.

وأصدرت الهيئة الحكومية لتغير المناخ في الحكومة البريطانية في الوقت ذاته تقريرها الأول عن كيفية تعامل بريطانيا مع الخطر المروع لانطلاق الاحترار الكوني. إن لدى الطبيعة حساً شديداً للدعابة بالتأكيد.

ثمة كوارث مناخية دائمةً خلال 24 ساعة من الأخبار في مكان ما في العالم في وقت متزامن مع الحاضر. فمكان ما في هذه الأرض سيحطم السجل المناطقي أو الوطني أو المحلي بدرجة حرارة ما أو تساقط المطر (المتساقطات عموماً).

عودة إلى الأيام الخوالي

إن حالنا نحن البشر على الأرض اليوم أفضل بكثير مما كانت. ومقارنة بما كانت عليه الحال قبل مئة أو مئتين أو خمسمئة عام، فإننا نعيش نحن الغربيين حياةً أطول، ونأكل طعاماً أفضل، ووضعنا أثرى، وصحتنا أفضل والعناية الصحية لكبار السن أفضل بكثير[26][27][28][29]. وأصبحت الحال حتى في العالم الثالث، أفضل من ذي قبل، على الرغم من ازدياد عدد السكان. وقد ازداد معدل استهلاك الطعام بنسبة 38 في المئة منذ ستينيات القرن العشرين إلى 2666 وحدة حرارية للشخص، على الرغم من أن عدد السكان في هذه البلدان قد ازداد بنسبة 83 في المئة. وانخفض ثمن الطعام بنسبة 75 في المئة. وضَمِن الإنتاج الزراعي المحسن والتجارة الأكثر من المفترض أن تكون نسبة الذين يموتون من الجوع في العالم الثالث أقل. وكانت نسبة 16 في المئة من الناس في العالم الثالث في عام 1970، تعيش ضمن ما مقداره أقل من دولار أميركي واحد في اليوم. وأصبحت النسبة الآن 6 في المئة. وانخفضت نسبة الذين يعيشون على دولارين في اليوم من 39 في المئة إلى 18 في المئة. كما تحسنت نسبة متوسط العمر المتوقع، إذ ازدادت في الصين من 41 عاماً في خمسينيات

(26) Indur M. Goklany, *The Improving State of the World: Why We're Living Longer, Healthier, More Comfortable Lives on a Cleaner Planet* (Washington, DC: Cato Institute, 2007).

(27) Stephen Moore and Julian Simon, *It's Getting Better all the Time: 100 Greatest Trends of the 20th Century* (Washington, DC: Cato Institute, 2000).

(28) Julian L. Simon, *Population Matters: People, Resources, Ennvironment and Immigration* (New Brunswick, NJ: Transaction Publishers, 1993).

(29) B. Lomborg, *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Rreal State of the World* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1998).

القرن العشرين إلى 71، اليوم، وازدادت في الهند من 39 إلى 63. وتضاعف طول العمر لمليارين من البشر في كلتا الدولتين. كان متوسط طول العمر عام 1900 عالمياً 31 عاماً. وأصبح الآن 67 عاماً. وهناك طريق طويلة علينا اجتيازها، ولكن لم يحدث في تاريخ البشرية أن تحرر كثير من الناس من قبضة الفقر والجوع مثل ما حدث في زمننا المعاصر[30].

إن لكثير من البيئيين نظرة رومانسية عن الماضي ولا يعترفون بالصراع الشديد للبقاء على قيد الحياة في الأزمنة الماضية عندما سادت البطالة، والمجاعات، والأمراض، وموت الأطفال بنسبة عالية، والحياة القصيرة والبرد القارس. . . حياة الناس اليومية.

لا تعطوني النظرة البيئية الرومانسية عن الأيام الحلوة الماضية، فإنها لم تكن كذلك.

شكر وتقدير

نشأ هذا الكتاب من عشاء في لندن مع آندرو رايت (Andrew Wright) من مؤسسة (Cobbetts LLP)، وكيري ستيفنسن (Kerry Stevenson) (Apollo Global) وثلاثة محامين شبان من كوبتس إل إل بي: نينا براين (Nina Bryan)، وكريس تانغ (Chris Tang)، وفيونا تويغ (Fiona Twigg). دعم المحامون الثلاثة جميعهم النموذج الشائع بأن إصدارات الإنسان لثاني أكسيد الكربون تغير المناخ. وعلى الرغم من أنه كان لهؤلاء الثلاثة مادة فكريةً فوق الكفاية لدحض النموذج الشائع، غير أنهم لم تكن لديهم المعرفة العلمية ولا التدريب العلمي لتفنيدها نقطة بنقطة. حصل ذلك أثناء ذلك العشاء، فحثّني هذا على كتابة كتاب علمي عن تغير المناخ من أجل نينا، وكريس وفيونا، وكل ذي فكر منفتح ويريد أن يعرف المزيد عن كيفية عمل كوكبنا. إن العقل مثل الباراشوت، يعمل فقط عندما يكون مفتوحاً.

سمحت مؤتمرات عدة ببث أفكار هذا الكتاب ونقدها مثل: نادي سيدني للمناجم (Sydney Mining Club)، وكوادرانت دينر (Quadrant Dinner)،

(30) Indur M. Goklany, *The Improving State of the World: Why We're Living Longer, Healthier, More Comfortable Lives on a Cleaner Planet* (Washington, DC: Cato Institute, 2007).

و(YPO)، ومنتدى منسايت (Minesite Forum)، وجماعة الشك الأسترالية (Australian Skeptics)، وجماعة الاكتشاف المفيد (Paydirt)، وقضاة المحمكة العليا والفدرالية، وجمعية ريفيي ورعاة المواشي (WA Pastoralists and Graziers Association)، وملتقى إعادة التأمين (Reinsurance Rendezvous، ومجلس NZ للتأمين (NZ Insurance Council)، والامتياز في المناجم والاستكشاف (Excellence in Mining and Exploration)، ونادي الكمنولث (Commonwealth Club)، والمعهد الأوستروآسيوي للمناجم وعلم المعادن (Australasian Institute of Mining and Metallurgy)، AMEC، والمؤسسة الملكية للخدمات المتحدة لـ SA، Royal United Services Institute of SA, وغرفة التجارة الأسترالية ـ الإسرائيلية (Australia-Israel Chamber of commerce).

وحثّ كلٌّ من نك بادهام (Nick Badham)، وبوب بزلي (Bob Besley)، وكلين بروكس (Colin Brooks)، وبوب كارتر (Bob Carter)، وكايت هارتلي (Kate Hartley)، وتم هارتلي (Tim Hartley)، وجون هولند (John Holland)، وجون نثري (John Nethery)، وكليف أولير (Cliff Ollier)، وورول تويدايل (Rowl Twidale)، وجم وال (Jim Wall)، وبيتر ولم (Peter Whellum) على مناقشات ونقد وتعليقات. كما أعطى هؤلاء النقاد مقداراً كبيراً من وقتهم وجهدهم كقراء ونقاد، وتركوا في بعض الأماكن، بقعات قهوة على المخطوطة. وكان نشر كتاب كهذا من دون النقد الهادئ لهؤلاء العلماء وغير العلماء منهم أشبه بالمستحيل، وإني مدين بالعرفان الجزيل لمن عمل من هؤلاء المذكورين أعلاه ضمن ضغوط زمنية صعبة، وأعطوا اقتراحات كثيرة في الأسلوب والمحتوى. وكان المحرر، جورج توماس (George Thomas)، المعلم الضروري والناشر أنثوني كابلو (Anthony Capello) (Connor Court Publishing, Ballan, Victoria) وناشر الطبعة البريطانية، نعيم عطالله (Niam Attallah) (Quadrant Books, Mayfair, London) قد أعطوني كل التشجيع الذي احتجت إليه. وعلى الرغم من ذلك، فإنني أنا المسؤول عن الأخطاء في هذا الكتاب. وعانى زملائي في جامعة آديلايد (University of Adelaide)، فترات طويلة، عزلتي، التي كانت شرطاً ضرورياً لكتابة كتاب. كما حول آندي ليدغارد (Andy Lidgard) خربشات المسودة إلى رسوم بيانية خطية، وكان ذلك أيضاً تحت ضغوط زمنية شديدة. وإن سبب بقائه معي طيلة عقدين هو من إحدى أسرار الحياة.

تكتب زوجتي مايا (Maja)، في الطابق العلوي، كتابها عن القصة التي

لا تصدق عن تشارلز راسب (Charles Rasp)، مكتشف الجسم المصنوع من الفضة ـ والرصاص ـ والزنك المكسور، وكتبت أنا في الطابق السفلي كتاب **الأرض والسماء** (*Heaven and Earth*). إنها أشد المعجبين بي وأكثر الناقدين لي أيضاً. وتأرجحت الأفكار ومسودات الفصول بين الطابق العلوي والسفلي، والحياة بهيجة وغير منتظمة إلى حد كبير ولن نعيشها على نحو آخر. إن العيش مع من يكتب كتاباً ليس سهلاً.

إن شكري من صميم القلب إلى ثلاثة أشخاص منشغلين جداً، اللورد لاوسون من بلابي (Lord Lawson of Blaby)، والبروفسور جيفري بليني[31] (Professor Geoffrey Blainey)[32]، والدكتور فاكلاف كلاوس (Dr. Vaclav Klaus)[33]، الذين كانوا كراماً بمنحي وقتهم لكتابة ملاحظات الغلاف.

---

(31) بعد أن عمل عدة سنوات في الصحافة، بما في ذلك محرراً لمجلة *Spectator* من سنة 1966 إلى سنة 1970، أصبح نغل لوسون (Nigel Lawson) عضواً محافظاً في البرلمان سنة 1974. وعمل في حكومة ثاتشر من 1979 إلى 1989 كوزير للمالية والخزينة، ووزير دولة للطاقة، ومن سنة 1983 أصبح مستشاراً لخزانة الدولة. ودخل إلى مجلس اللوردات سنة 1992، وهو عضو في هيئة اختيار اللورد في الشؤون الاقتصادية التي وضعت سنة 2005 تقريراً غنياً عن اقتصاديات تغير المناخ. وألف كتاب **نظرة من رقم 11: ذكريات توري جذري** (*A View from No.11: Memoirs of a Tory Radical*)، و**لعبة القوة** (*The Power Game*)، وكتاب نغل لوسون للحمية (*The Nigel Lawson Diet Book*) و**نظرة باردة إلى الاحترار الكوني** (*An Appeal to Reason: A Cool Look at Global Warming*).

(32) إن البروفسور جيفري بليني AC هو مؤرخ أستراليا الأكثر شهرةً. ألف ثلاثة وستين كتاباً بما فيهم **استبداد المسافة** (*The Tyranny of Distance*)، و**انتصار البدو** (*Triumph of the Nomads*)، و**تاريخ قصير عن القرن العشرين** (*A Short History of the 20th Century*)، والكتاب الأكثر مبيعاً **تاريخ قصير عن العالم** (*A Short History of the World*) و**بحر من الأخطار: الكابتن كوك ومنافسيه** (*Sea of Dangers: Captain Cook and his Rivals*). ترأس أقسام التاريخ والتاريخ الاقتصادي في جامعة ملبورن لـ21 سنة. وكان مندوباً للمؤتمر البنيوي سنة 1998، وترأس مراكز حكومة الكومونولث بما في ذلك مجلس أستراليا، هيئة الأدب، والهيئة الأسترالية-الصينية والهيئة الوطنية لمئوية الفيدرالية.

(33) الدكتور فاكلاف كلاوس رئيس الاتحاد الأوروبي (2009) والرئيس الثاني لجمهورية التشيك. كان رئيساً للوزراء (1992-1997)، ووزيراً للمالية (1989-1992)، ورئيس غرفة المندوبين (1989-2002) واقتصادياً درس في براغ، وإيطاليا، والولايات المتحدة الأميركية. تولى عدة مناصب في مؤسسة الاقتصاد في الأكاديمية التشيكسلوفاكية للعلوم وبنك تشيكسلوفاكيا الحكومي. نشر أكثر من عشرين كتاباً في الأمور الاجتماعية، والسياسة، والاقتصاد. حصل على جائزة جوليان إل سومن من مؤسسة المشاريع المتنافسة، وكما حصل على شهادات دكتوراه عديدة وجوائز من هيئات دولية، وهو مؤلف كتاب **كوكب أزرق في قيود خضراء** (*Blue Planet in Green Shackles*).

الفصل الثاني

تاريــخ

سؤال: هل صحيح أن سرعة تغير المناخ المعاصر ومقداره لا سابق لهما؟

الجواب: لا

سؤال: هل يحدث احترار خطير؟

الجواب: لا

سؤال: هل تقع درجة الحرارة المسجلة في القرن العشرين خارج نطاق التغيير الطبيعي؟

الجواب: لا

كان مستوى سطح البحر خلال الفترة الجليدية الأخيرة أعلى بستة أمتار مما هو اليوم. وكانت درجة حرارة الهواء أدفأ بدرجتين إلى ثلاث درجات مئوية. وتراجعت صفائح الثلج غير أنها لم تذب كلها. وتراجع جليد أودية الألب. كما تغيرت مواطن النبات والحيوان. وتقدمت الأشجار إلى أعالي المنحدرات وإلى مرتفعات أعلى ولم يكن ثمة انقراض للحياة. وازدهرت الحياة على الأرض، وكان هناك قليل من موجات البرد القارس. ولم تكن ثمة صناعة تقذف بثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى الجو في ذلك الوقت فلا يمكن لهذا الاحترار إلا أن يكون طبيعياً.

بدأ التجلد الأخير قبل 116,000 عام خلت. واتسعت صفائح الثلج،

والأنهار الجليدية وثلج البحر. وانخفضت درجة الحرارة وانخفض مستوى سطح البحر. وانتقلت بعض النباتات والحيوانات، وتلك التي لم يمكنها التأقلم انقرضت. وكانت هناك فترات قصيرة من الدفء خلال العصر الجليدي الأخير تبعتها انهيارات سريعة في ظروف شديدة البرودة. وعاش البشر على الحافة، وكانوا محظوظين ببقائهم على قيد الحياة في التجلد الأخير.

انتهى التجلد الأخير قبل 14,000 عام. وكان هناك احترار كوني سريع تبعه ارتفاع سريع لمستوى سطح البحر. وارتفع مستوى سطح البحر 130 متراً على الأقل بمعدل سنتيمتر واحد في العام. وارتفعت الأشجار فوق المنحدرات وإلى مناطق أعلى، وهاجرت الحيوانات ونمت البشرية.

اندفع المناخ بسرعة في فترات باردة جداً من 12,900 إلى 11,500 عام خلت، ومن 8500 إلى 8000 عام مضى. وضغطت هذه التغيرات الحياة على الأرض، وغيّرت توزيع النباتات والحيوانات وانتشارها، وأدت إلى اتساع صفائح الثلج والأنهار الجليدية في أودية جبال الأب. وكان مستوى سطح البحر خلال فترة دافئة قبل 6000 عام أعلى بمترين مما هو عليه الآن. وكانت درجة الحرارة أعلى أيضاً.

تطلّب تغير المناخ من دافئ إلى بارد سنواتٍ وعقوداً. واستمرت الأوضاع المتقلبة من دافئ إلى بارد خلال ألوف السنين التي تميزت بالدفء. ثم بدأت فترة جفاف امتدت 300 سنة من عام 2200 قبل الميلاد. وأدى ذلك إلى انهيار الامبراطوريات وتناقص عدد السكان.

كانت درجة الحرارة في فترة الاحترار الروماني من عام 250 قبل الميلاد إلى عام 450 بعد الميلاد على الأقل أعلى من الآن بدرجتين مئويتين. وكانت تلك فترة احتراراً كونياً مع تزايد في عدد السكان، وكان هناك إفراط في الغنى والزراعة في مناخ دافئ أمكن نقلها إلى مناطق مرتفعةً أكثر وأكثر من الآن، واتسعت الغابات. لا يمكن إذن لهذا الاحترار أن يكون قد حدث بسبب انبعاث ثاني أكسيد الكربون من قبل الإنسان.

ثم جاءت العصور المظلمة. وكانت تلك فترة باردة قارصة نقصت فيها المحاصيل، وسادت مجاعة، وأمراض، وحروب، وتناقص عدد السكان، واتساع الجليد، واشتداد الرياح. وكان هناك تمزق اجتماعي شديد خلال

العصور المظلمة، وعصابات لاجئة من المناخ المهلك تنقلت في أوروبا باحثة عن الطعام. وانهارت حضارات مثل حضارة المايا (Mayans).

كان احترار العصور الوسطى (900 ـ 1300) وقتاً رائعاً للحياة على الأرض. وتقلصت صفائح الثلج والأنهار المتجمدة وثلج البحر، ما مكّن من استكشاف البحر والاستقرار في مناطق مرتفعة. وتأسست محاصيل القمح، وقطعان الماشية، والغنم، والمزارع، والقرى في غرينلاند التي كانت درجة الحرارة فيها أدفأ بست درجات مئوية من اليوم. وعلى الرغم من أن فترة باردة كانت هناك دامت أربعين عاماً في احترار العصور الوسطى، كان النقص في المحاصيل والمجاعات نادراً. ازداد عدد السكان، وكان هناك ما يكفي من الطعام لإطعام مزيد من عشرات الملايين من البشر. واستعمل الإفراط في الغنى الذي تولّد عبر الأجيال لبناء الكاتدرائيات، والأديرة، والجامعات. فكان احترار العصور الوسطى عالمياً. ولا يمكن أن تكون إصدارات ثاني أكسيد الكربون CO_2 قد سبّبت هذا الاحترار.

بدأ عصر جليدي صغير في أواخر القرن الثالث عشر مع نقصان في النشاط الشمسي. واتسم هذا العصر بسرعة تقلب المناخ وبفترات باردة غير عادية خلال خمول النشاط الشمسي (1280 ـ 1340، 1450 ـ ، 1645 ـ 1715، و1795 ـ 1825). وكان الجو بارداً جداً. وكان تغير المناخ عالمياً. وكان ثمة نقص في المحاصيل، ومجاعة، وأمراض، وحرب وتناقص في عدد السكان. وحدث تمزق اجتماعي، ولجأ المنحرفون المتنقلون بتأثير المناخ والجائعون إلى أكل لحوم البشر. وارتفعت أسعار الطعام عند ضعف النشاط الشمسي. وانقرض الفايكينغز (الاسكندنافيون) في غرينلاند، ولم يكن زمناً جيداً للحياة.

انتهى العصر الجليدي الصغير عام 1850، وحلّ اتجاه إلى الاحترار مع فترات أبرد (1940 ـ 1976 و1998 ـ حتى الوقت الحاضر). ويظهر التاريخ والأركيولوجيا والجيولوجيا أننا نعيش الآن في مناخ ما بين جليدي ومناخ متغير. وإن التغيرات الطفيفة التي يمكننا ملاحظتها مع علم الآلات الحديث قليلة جداً.

إن معدلات تغير المناخ ومقدارها أقل من التغيرات التي حدثت في السنوات الـ 1000 أو الـ 10,000 أو الـ 100,000 الأخيرة. وقد جلب الاحترار الكوني إفراطاً في الطعام والغنى، والاستقرار الاجتماعي، وتنوعاً سريعاً في الحياة على الأرض.

يبيّن لنا التاريخ والأركيولوجيا أن الابتراد الكوني ينتج جفافاً، وتمزقاً

اجتماعياً، ونازحين من المناخ، ومجاعات، وأمراضاً، وحروباً، وتناقصاً في عدد السكان، وانهياراً للحضارات، وانقراضاً للنبات والحيوان. فقد ازدهرت الحضارات العظيمة في أوقات دافئة. وإننا نعيش في أفضل الأوقات التي توفرت للبشر على كوكب الأرض.

إننا الجيل البشري الوحيد الذي يخشى الأزمنة الدافئة! إن الاحترار الكوني يجعلنا أكثر غنى وأحسن صحة.

مناخاتنا المتغيرة

إن المناخ في تغير مستمر. وهذا ما يفعله. وليس ذلك مفاجئاً، فكوكب الأرض ديناميكي ومتطور. ويستحيل التوقع بتغيرات المناخ أو فهم المناخ الحديث من دون النظر إلى الماضي. فخلال قبضة التجلد في العصر الباليوليثي العلوي من 35,000 إلى 30,000 عام مضت[34]، كان هناك بضع مئات الآلآف من البشر على الأرض فقط. وانتهى التجلد قبل 14,000 عام، وازداد عدد السكان العالمي خلال 10,000 عام مضت إلى نحو 5 ملايين[35]، وارتفع العدد إلى إلى 100 ـ 150 مليوناً قبل 2500 عام مع اكتشاف الزراعة ونمو الحضارات[36]. واختلفت درجة الحرارة ومعدل تغيرها بشدة خلال التجلد الأخير (118,000 ـ 14,000 عام مضت). وكان اختلاف درجة الحرارة ومعدل تغيرها صغيراً بين الفترات الجليدية الماضية والحديثة.

يبيّن لنا التاريخ أن المناخ يتحكم بحياتنا. وعلى سبيل المثال، نتجت الأزمات المستمرة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية في القرنين السابع عشر والثامن عشر من العصر الجليدي الصغير. وجلب الطقس الرطب ومواسم الحصاد السيئة الناتجة عام 1697 كارثة إلى المجموعات الزراعية؛ فقد قتلت المجاعة في فنلندا عام 1697، ثلث عدد السكان[37]. ونتمتع الآن بفترة ما بين جليدية ضمن

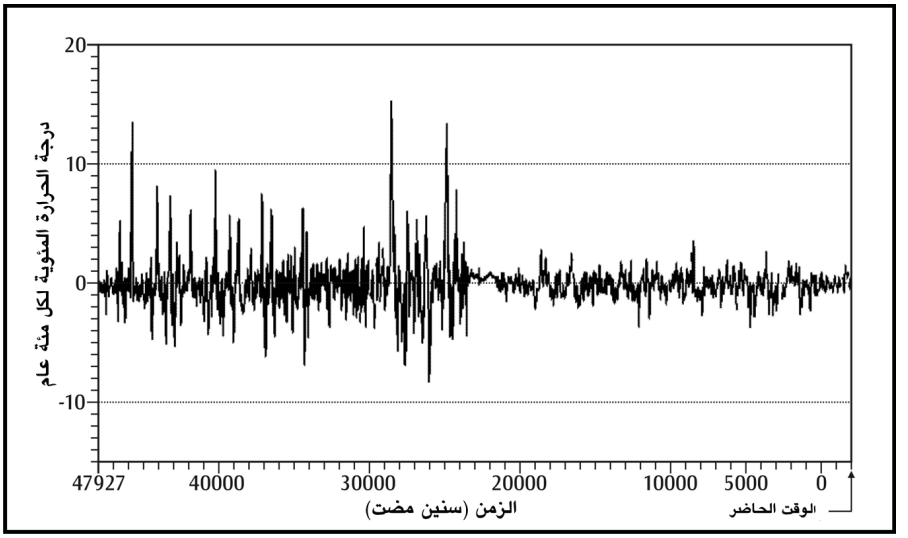
(34) يكون العصر جليدياً عندما يغطي الجليد مناطق مرتفعة وقطبية.

(35) William James Burroughs, *Climate Change in Prehistor: The End of the Reign of Chaos* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2005).

(36) M M. Kremer, «Population Growth and Technological Change: One Million BC to 1990,» *Quarterly Journal of Economics*, vol. 108 (1993), pp. 681-716.

(37) William James Burroughs, *Does the Weather Really Matter?: The Social Implications of Climate Change* (Cambridge; New York: Cambridge University Press, 1997).

فترة جليدية طويلة استمرت منذ عشرات ملايين السنين[38]. لقد كان مستوى ثلج الجليديات في جبال الألب خلال فترات باردة في أوروبا نحو 1400 متر أخفض من الآن في أحداث ورم (Würm) (قبل 50,000 سنة)، وريس (Riss) (قبل 150,000 عام)، وميندل (Mindel) (قبل 470,000 عام) وغنز (Günz) (قبل 650,000 عام). ثم ثارت العواصف الثلجية العنيفة، وكان هناك الحضور المشؤوم لصفائح الثلج وتجلدات أودية الألب التي محقت سطح التربة وقلبت حياة النباتات.



الشكل 5: تغير مقدار درجة الحرارة ومعدلها خلال 50,000 عام يظهر تأرجح درجة الحرارة خلال التجلد ودرجات حرارة أكثر استقراراً خلال الفترة ما بين الجليدية الحالية. وإن درجات الحرارة المقاسة حديثاً تقع ضمن مدى التغير.

هل تؤثر هذه التغيرات الطبيعية في الإنسان؟ هل تؤدي هذه التغيرات إلى انقراض الحياة على الأرض؟ هل ينتج منها تناقص في عدد السكان أم تأقلم؟ هل هي سريعة؟ هل التغيرات واسعة؟ ثمة أدلة ساحقة تبيّن أن المناخ البارد ينتج منه انخفاض في عدد السكان، وينتج من المناخ الدافئ ازدهار. على سبيل المثال، كانت هناك فترة دافئة قبل 32,000 إلى 28,000 عام خلال عصر التجلد الأخير. وفي هذه الفترة كان هناك نزوح كبير للرجل الكرومنيوني (Cro-Magnon) (وهو

(38) تجلدات بلستوسينية، تسمى أحياناً تجلدات رباعية (Pleistocene Glaciations, Sometimes Called the Quaternary Glaciations).

إنسان ما قبل التاريخ وجدت بقاياه عام 1868 في كهف كرومنيون في الجزء الجنوبي من فرنسا)، في أوروبا. وكانت فترات أدفأ خلال التجلد وبعده من 20,000، 14,000، و11,000 عام مضت متزامنة مع موجات أخرى من النزوح السكاني، مثل الهجرة من آسيا إلى أميركا الشمالية قبل 12,000 عام.

تمتعت أجيال سابقة من البشرية بطقس جيد وعانت الطقس السيّئ. وعلى الرغم من أن المصريين الذين اعتمدوا على نتاج نهر النيل لآلاف السنين أدركوا دورات المناخ، فلم يكن عامة الذين عاشوا خلال تغيرات مناخ تاريخية مدركين لدورات المناخ[39].

غير أن الفيلسوف اليوناني القديم أفلاطون (427 ـ 347 قبل الميلاد) قال في **تمايوس** (*Timaeus*) إن الاحترار الكوني يحدث ضمن فترات منتظمة، ما يؤدي عادةً إلى فيضانات كبيرة. وبين أفلاطون في **كريتياس** (Critias) أن فيضانات كهذه تسبب تآكلاً للتربة. وسجل تلميذه أرسطو (382 ـ 322 قبل الميلاد) أدلة على تغير المناخ في **متيورولوجيكا** (*Meteorologica*). فقد لاحظ أن آرغوس كانت خلال حرب طروادة سبخةً غير صالحة للزراعة، بينما كانت معتدلة وخصبة خلال الأزمنة الميسينية (Mycenaean Times). وتابع ثيوفراستوس (Theophrastus) (374 ـ 287 قبل الميلاد)، وهو تلميذ لأرسطو، التقليد مع **دي فنتس** (De ventis) فلاحظ أن جبال كريت (Crete) أنتجت في السابق فواكه وحبوباً، بينما كانت فصول الشتاء في الوقت الذي كتب فيه أكثر شدةً، وكان الثلج يتساقط فيها بكثرة. كما لاحظ ثيوفراستوس في كتابه **دي كوزيس بلانتاروم** (De causis plantarum) أنه كان في مدينة لاريسوس اليونانية كثير من أشجار الزيتون، لكن درجات الحرارة المنخفضة قتلتها.

ولاحظ كتاب رومانيون مثل كولوميلا (Columella) في دي ري روستيكا (De re reustica) أن ثمة مناطق كانت باردة جداً ولا تصلح للزيتون والعنب أصبحت تنتج زيتوناً وعنباً. وتوجد أماكن كثيرة وشوارع في وسط أوروبا وفي المملكة المتحدة تدل أسماؤها على أن العنب والزيتون موجودين فيها عندما كان المناخ أدفأ.

أخذ الناس في العصور الوسطى والأزمنة التي تبعتها يسجلون ظواهر تتعلق

F. A. Hassan, «Climatic Change, Nile Foods and Civilization,» *Nature and Resources*, vol. 34 (39) (1998), pp. 34-40.

بالمناخ مثل التواريخ التي تتفتح فيها النباتات سنوياً، وتواريخ الحصاد وكمياته، وسجلات تعداد السكان، وازدياد التجلد وتراجعه.. وعلى الرغم من أن التغيرات كانت تسجل، غير أنها لم تكن متناسقة ولا مفهومة لأنها دفنت في سجلات الأديرة، والحسابات المالية، وسجلات الحصاد في الممتلكات الإقطاعية، وسجلات الضرائب، والأوراق القانونية، وسجلات الحكومة، وتقارير الشحن والموانئ، وطرق البحر المتغيرة، وسجلات السفن، وسجلات تقارير محلية عن أوضاع الطرقات وتجمد الأنهار، وأسعار السلع، وكتابات متنوعة لباحثين وأصحاب مغامرات.

يمكننا أن نحصل على بيانات واقعية عن المناخ القديم من الجليد. غير أنه ينبغي لنا ألّا نعتمد عليها وحدها بسبب وجود كميات وافرة من المعلومات في قاع البحر ورواسب البحيرات، وحلقات نمو الأشجار، والمستنقعات، والخث، وسجلات تاريخية ومسجلة تبين لنا أن تغيرات سريعة وبارزة في المناخ حدثت في الماضي. كما حدثت احترارات سابقة بفترة قبل التصنيع الذي لا يمكن ربطه ببعث الإنسان لثاني أكسيد الكربون، ويجب أن يكون طبيعياً. إن المعرفة بهذه الاحترارات السابقة مصادق عليها رسمياً بسجلات العلوم والتاريخ. وإن كان بعث الإنسان لثاني أكسيد الكربون أجبر على حدوث الاحترار في أواخر القرن العشرين، فعلى الذين يدعون ادعاءات كهذه أن يبينوا أن هذا الاحترار هو خارج نطاق الاحترار الطبيعي. ولم يفعل أحد ذلك.

وكانت الـ 2.67 مليون عام الأخيرة (Ma)[40] زمن أوضاع دورات للبيوت الجليدية والزجاجية. وخلال الـ 730,000 عام الأخيرة كان هناك عشر فترات جليدية رئيسية تفصل بينها فترات ما بين جليدية. ويمكن رؤية سجلات هذه التجلدات بأفضل حال في الرواسب العميقة للبحار، وهي موجودة في جميع المحيطات[41]. فتغير المناخ كان عالمياً. ويبدو أن التجلد الكامل والذوبان يتعلق بعمليات تبادل السخونة بين الجليد والمحيط ولا يتعلق بثاني أكسيد الكربون، فقد كانت فترات ما بين جليدية سابقة أدفأ بخمس درجات مئوية في المناطق القطبية مما هي عليه الآن في الفترة ما بين الجليدية الحالية.

(40) سوف يستعمل اختصار Ma، أي قبل ملايين السنين أو ملايين السنين في باقي الكتاب.

(41) C. Emiliani, «The Cause of Ice Ages,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 37 (1978), pp. 349-354.

أنتجت ترددات في مدار الأرض دورات متكررة ل 90,000 عام من المناخ البارد تتبعه 10,000 عام من الاحترار. وكانت هناك دورة من 41,000 عام قبل مليون عام. وتزامنت دورة 1500 عام دافئة[42] مع دورة 1500 عام شمسية خلال المليون عام الأخيرة على الأقل، وكانت دورات الـ 1500 عام هذه محددة على نحو عام بتغيرات في درجات الحرارة وصولاً إلى ارتفاع أربع درجات مئوية ركبت فوق دورات البيوت الجليدية (التجلدية) والزجاجية (ما بين الجليدية) الأطول. كما تسبب دورات شمسية أخرى على مدى 210 أعوام، و80 إلى 90 عاماً، و33 عاماً، و22 عاماً، و11 عاماً تغيراً مناخياً ضمن درجات مختلفة[43]. وكان المناخ، خلال أوقات باردة، متغيراً جداً، بينما كان أكثر ثباتاً خلال أوقات دافئة.

إن أحداثاً مثل انفجارات بركانية كبيرة (على سبيل المثال، طوبا قبل 74,000 عام، وكراكاتوا عام 735، وراباول عام 736، وتامبورا عام 1815، وكارا كاتوا عام 1883 وآثار مذنبات (عام 736) تملأ الجو بالغبار والحمض الكبريتيكي الذي يعكس الإشعاع الشمسي وينتج منه ابتراد سريع. ويمكن لانبعاث الغازات الكبريتيكية من البراكين، حتى البراكين الصغيرة جداً، أن يغير المناخ.

ترسب صفاح الجليد المنصهرة كتلاً وأنقاضاً تحجز الأودية التي تمتلئ بعد ذلك بالماء المذاب. وعندما تذوب تندفع سدود المياه المنصهرة، فتملأ الفيضانات الكبرى المناطق الطبيعية الريفية والمحيطات بمياه باردة. وتقع هذه المياه الباردة العذبة فوق مياه مالحة كثيفة أدفأ في المحيطات فيصبح المناخ بارداً فجأةً، وتختلط المياه مع بعضها البعض. وتنقل تيارات المحيط السخونة حول العالم تدفعها الرياح، وتغيرات مدارية وشمسية ومياه مالحة. وقد حدث هذا مرات عدة في الماضي وما يزال يحدث اليوم.

الاحترار الأخير العظيم

كان العصر ما بين الجليدي الأخير، قبل 125,000 عام، فترةً دافئةً قصيرة بين فترتين أطول وأبرد[44]. وعلى مدىً أكثر تفصيلاً، انتهى التجلد الأخير مع

(42) Dansgaard-Oeschger Cycles.

(43) M. Blaauw [et al.], «Solar Forcing of Climatic Change during the Mid-Holocene: Indications from Raised Bogs in the Netherlands,» *The Holocene*, vol. 14 (2004), pp. 35-44.

(44) G. J. [et al.], «Last Interglacial Climates,» *Quaternary Research*, vol. 58 (2002), pp. 2-13.

احترار مفاجئ قبل نحو 14,700 عام[45]، وأصبح الجو فجأةً أبرد من جديد قبل 13,000 عام[46]، بعد أن بدأ العصر ما بين الجليدي قبل حوالى 11,700 عام[47]. وخلال العصر ما بين الجليدي الأخير، كان المناخ أدفأ من اليوم[48][49]. فكانت الحرارة أدفأ بست درجات مئوية في القطبين، وأدفأ بدرجتين على خط الاستواء[50]. وامتد هذ العصر ما بين الجليدي[51] من 130,000 عام إلى 116,000 عام مع الذروة قبل 125,000 عام[52]. وكان حجم الثلج العالمي منخفضاً ومستوى سطح البحر أعلى بأربعة إلى ستة أمتار من الآن[53]. وتبعت خطوط الأشجار تراجعات التجلد واتسعت إلى مناطق بعيدة جداً عن خط الاستواء وإلى الجبال[54]. وأصبحت مناطق منخفضة جداً مغطاة ببحار دافئة وضحلة. وتسبب كثير من الأراضي المنبسطة الساحلية بترسب الطين والغرين المعلق في وضع بحري ضحل. وارتفعت درجة حرارة سطح البحر، وهذا يرتبط مع زمن ارتفاع الحيد البحري المرجاني[55]. ويرتبط أيضاً بدرجة الحرارة القطبية المحسوبة من

---

(45) الاحترار السالياني الأخير (Late Saalian Warming) (MIS6).

(46) Kattegat Stadial; Heinrich Event 1.

(47) D. J. Beets, C. J. Beets and P. Cleveringa, «Age and Climate of the Late Saalian and Early Eemian in the Type-Area, Amsterdam Basin, «The Netherlands,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 25 (2005), pp. 876-885.

(48) G. J. Kukla, «The Last Interglacial,» *Science*, vol. 287 (2000), pp. 987-988.

(49) B. L. Otto-Bliesner [et al.], «Simulating Arctic Climate Warmth and Icefield Retreat in the Last Interglaciation,» *Science*, vol. 311 (2006), pp. 1751-1753.

(50) K. M. Cuffey, and S. J. Marschall, «Substantial Contribution to Sea-Level Rise during the Last Interglacial from the Greenland Ice Sheet,» *Nature*, vol. 404 (2000), pp. 591-594.

(51) يسمى العصر ما بين الجليدي الإيميان (Eemian Interglacial) (هولندا)، العصر ما بين الجليدي سانغامون (Sangamon Interglacial) (أميركا الشمالية)، العصر ما بين الجليدي إبسوشيان (Ipswichian Interglacial) (المملكة المتحدة) والعصر ما بين الجليدي رس فورم (Riss-Würm Interglacial) (جبال الألب الأوروبية). حدثت في مرحلة مارين آيزوتوب Marine Isotope 5e ومنذ 116,000 سنة، في نهاية الإيميان، بدأت مرحلة مارين آيزوتوب 5d.

(52) J. Schokker, P. Cleveringa and A. S.Murray, «Palaeoenvironmental Reconstruction and OSL Dating of Terrestrial Eemian Deposits in the Southeastern Netherlands,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 19 (2004), pp. 193-202.

(53) K. M. Cuffey, and S. J. Marshall, «Substantial Contribution to Sea-Level Rise during the Last Interglacial from the Greenland Ice Sheet,» *Nature*, vol. 404 (2000), pp. 591-594.

(54) D. R. Muhs, T. R. Ager and J. E. Beget, «Vegetation and Paleoclimate of the Last Interglacial Period, Central Alaska,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 20 (2001), pp. 41-61.

(55) G. M. Henderson, N. C. Slowey and M. Q. Fleischer, «U-Th Dating of Carbonate Platform and Slope Sediments,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 65 (2001), pp. 2757-2770.

قلب الثلوج[56][57]. وكانت هذه الفترة ما بين الجليدية الدافئة عالمية. وخلال الفترة ما بين الجليدية، بدأت المناطق التي كانت مغطاة بصفائح ثلجية سميكة بالارتداد والارتفاع، فقط لتكون مغطاة بالثلج ومضغوطة مرةً أخرى لبضع آلاف السنين بصفائح ثلجية[58]. وخلال هذه الفترة نفسها، بدل توندرا خط العرض البعيد جداً عن خط الاستواء بأشجار، وغطت الغابات الكثيفة مرةً أخرى أوروبا القارية[59][60][61]، والمملكة المتحدة[62]، وغيرها في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. ولم يكن الجو أدفأ في شمال أوروبا فقط، إذ كانت اليونان دافئة أيضاً، وأدفأ مما هي عليه الآن، ويبين ذلك أن الاحترار لم يكن محصوراً في مناطق بعيدة عن خط الاستواء فقط[63]. فقد كان هذا الاحترار عالمياً، وكان مستوى سطح البحر في أستراليا الغربية أعلى بثلاثة أمتار مما هو عليه الآن على الأقل، ونما الحيد البحري المرجاني بين 128,000 و121,000 عام خلت في مناطق درجة حرارة الماء فيها الآن باردة جداً للمرجان[64]. ونشأ خلال هذه الفترة، الإنسان الحديث (Homo sapiens) في شرق أفريقيا.

---

(56) يتبخر الأكسجين 16 بتميز من المحيطات ويسقط بالثلج. وهذا يستنزف المحيطات بالأكسجين 16 (أكسجين خفيف) وتصبح غنيةً نسبياً بالأكسجين 18. ويمكن استعمال نسبة الأكسجين 18 إلى الأكسجين 16 في صفائح الثلج وأحافير بقايا الحيوانات العائمة لحساب درجة حرارة سطح الماء ودرجة حرارة الهواء في الوقت الذي يسقط فيه الثلج. وإن استعمال تركيب الأكسجين في هذا الكتاب إشارة إلى استعمال O18/O16 لتحديد درجة الحرارة القديمة.

(57) J. Mangerud, [et al.], «Fluctuations of the Svalbar-Berents Sea Ice Sheet During the Last 150,000 Years,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 17 (1998), pp. 11-42.

(58) D. J. Beets, C. J.Beets and P.Cleveringa, «Age and Climate of the Late Saalian and Early Eemian in the Type Area, Amsterdam Basin, The Netherlands,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 25 (2005), pp. 876-885.

(59) J. -L. De Beaulieu and M. Reille, «The Last Climatic Cycle at La Grande Pile (Vosges, France): A New Pollen Profile,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 11 (1992), pp. 431-438.

(60) B. Aaby and H.Tauber, «Eemian Climate and Pollen,» *Nature*, vol. 376 (1995), pp. 27-28.

(61) G. Caspers [et al.], «The Eemian Interglaciation in Northwestern Germany,» *Quaternary Research*, vol. 58 (2002), pp. 49-52.

(62) M. Gascoyne, A. P. Currant and T. C. Lord: Ipswichian Fauna of Victoria Cave and the Marine Palaeoclimate Record,» *Nature*, vol. 338 (1981), pp. 309-313.

(63) M. R. Frogley, P. C. Tzedakis and T. H. E. Heaton, «Climate Variability in Northwest Greece during the Last Interglacial,» *Science*, vol. 285 (1999), pp. 1886-1889.

(64) C. H. Stirling [et al.], «Timing and Duration of the Last Interglacial: Evidence for a Restricted Interval of Wisespread Coral Reef Growth,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 160 (1998), pp. 745-762.

لم تذب الصفائح الجليدية القطبية كلها خلال الفترة ما بين الجليدية الأخيرة، عندما كانت درجة الحرارة مستوى سطح البحر أعلى من الآن[65]. ولم تنقرض الدببة القطبية. ولم تكن هناك ظاهرة الدفيئة، أو «نقاط قَلَّابة». وتكيف، مع كل ذلك، السكان. وحدث للمناخ ما يحدث له دائماً: **التغير**. ولم تحرك هذه الفترة التي بلغت 14000 عام دافئة كميات عليا من ثاني أكسيد الكربون الجوي. وكانت الآليات المدارية والشمسية هي القوى المحركة.

التجمد الكبير الأخير

بدأ العصر الجليدي الأخير[66] قبل 116,000 عام. وشهدنا خلال السنين الـ 100,000 الأخيرة، تغيراً واختلافاً في المناخ. وتقترح الدلائل أن الانتقال من أوضاع ما بين جليدية إلى أوضاع جليدية حدث في 400 عام فقط. كانت خطوط الثلج حول العالم أكثر انخفاضاً بـ 900 متر مما هي عليه اليوم[67]. كما كانت درجة حرارة الهواء في الأنهار الجليدية أبرد بخمس درجات مئوية من اليوم، في حين كانت درجة حرارة سطح البحر الاستوائي أبرد بثلاث درجات مئوية[68]. ثم حلّت الحياة النباتية الخفيفة محل الغابات الكثيفة، وتراجعت الغابات إلى مناطق أدنى في خطوط العرض وأقرب إلى خط الاستواء، بعد أن اتسعت صفائح الجليد في مرتفعات أقل وإلى مسافات أقل بعداً عن خط الاستواء، وفسحت مناطق الغابات مثل الأمازون الطريق لمناطق عشبية. واختفت الغابات في أوروبا فجأةً قبل 107,000 عام واجتاحت المياه الباردة وسط المحيط الأطلسي الشمالي[69]، ثم تساقطت المياه المتبخرة كثلج، وتجمعت في صفائح جليدية، ولم تتم دورتها رجوعاً إلى المحيطات، مما أدى إلى انخفاض في مستوى سطح البحر. وتعاظمت صفائح الجليد وتناقصت، مثلما حدث لتجلدات أودية جبال الألب.

---

(65) I. J. Winograd [et al.], «Duration and Structure of the Past Four Interglaciations,» *Quaternary Research*, vol. 48 (1997), pp. 141-154.

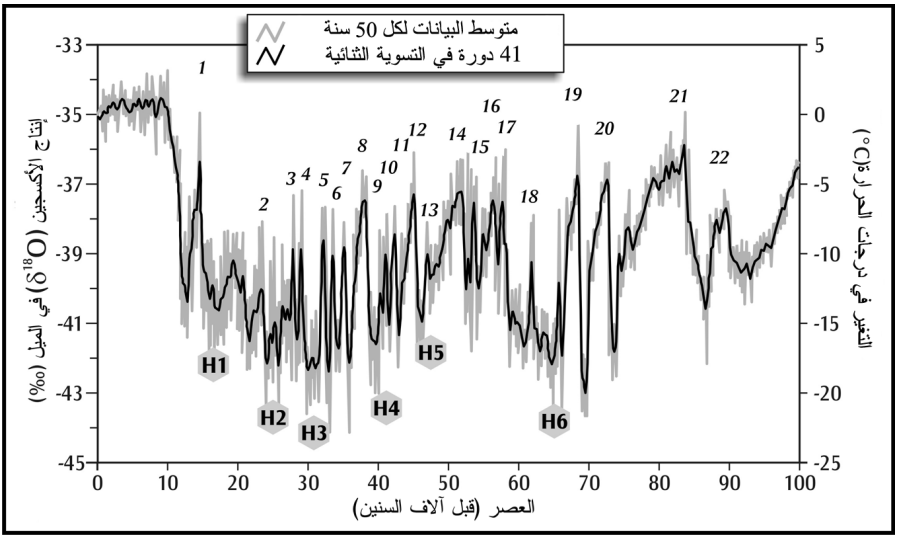
(66) يعرف العصر الجليدي بالوسكانسن (Wisconsin) في أميركا الشمالية ووورم (Würm) في أوروبا.

(67) S. C. Porter, «Snowline Depression in the Tropics during the Last Glaciations,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 20 (2000), p. 1067.

(68) W. S. Broecker, «Was the Medieval Warm Period Global?,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 1497-1499.

(69) K. - L. Knudsen, M.-S. Seidenkrantz, and P. Kristensen, «Last Interglacial and Early Glacial Circulation in the Northern North Atlantic Ocean,» *Quaternary Research*, vol. 58 (2002), pp. 22-26.

مع تناقص مياه المطر الذي يتساقط على النباتات، تراجعت الغابات إلى مناطق أقل بعداً عن خط الاستواء. وتكونت تلال من الرمال وزهرات البحار فوق مناطق واسعة من أفريقيا، وأستراليا، وآسيا والقارة الأميركية. ولم يكن المناخ بارداً وحسب، بل كان أكثر جفافاً وأشد ريحاً. وعندما بدأ التجلد، انخفض مستوى سطح البحر وخطت الأنهار الممددة أودية صغيرة شديدة الانحدار بعمق عشرة أمتار في سهول منبسطة ساحلية كانت مغمورة من قبل[70].



الشكل 6: التعبير عن درجة حرارة سطح البحر باستعمال نظائر أكسجين من صفائح جليد غرينلاند (GISP2 ice core). **تختلف درجة حرارة سطح البحر اختلافاً سريعاً إلى أكثر من 20 درجة مئوية أي أكثر من 20 ضعفاً حدث احترار دانسغارد/ أوشغر. تفرز صفائح الجليد أعداداً كبيرة من الجبال الجليدية. (أحداث هاينرخ** (H6 to H1) **خلال التجلد، وكان هناك عدم استقرار شديد في درجة الحرارة في التجلد الأخير. لقد كانت درجة حرارة سطح البحر أعلى خلال العصر ما بين الجليدي الحالي، وكان هناك اختلاف أقل كثيراً في درجة الحرارة**[71].

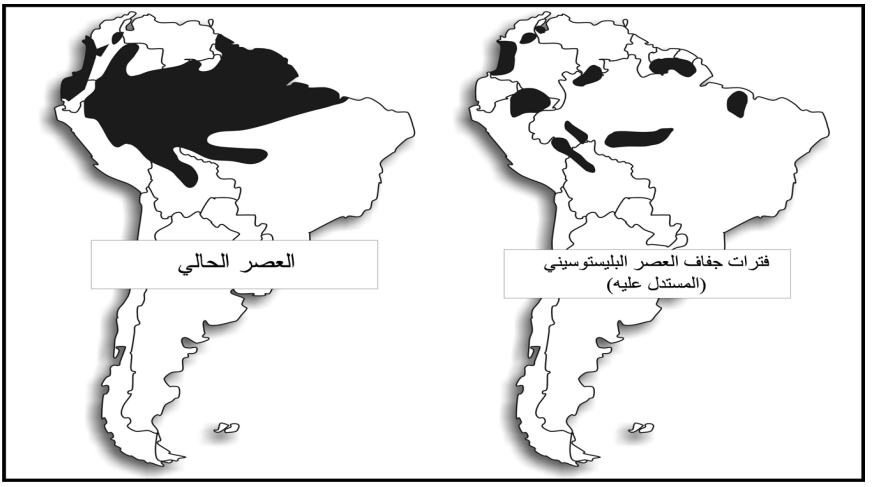
وثمة اختلافات كبيرة في درجة حرارة الهواء وسطح البحر، وحجم الجليد ومستوى سطح البحر خلال تجلّد ما. ويعطي إعادة تشكيل درجات الحرارة من

(70) Törnqvist, [et al.], «Response of the Rhine-Meuse System (West-Central Netherlands) to the Last Quaternary Glacio-eustatic Cycles; FIRST Assessment,» *Global and Planetary Change*, vol. 27 (2000), pp. 89-111.

(71) مركز بيانات العالم لعلوم المناخ القديم، بولدر (Boulder)، كولورادو (Colorado).

بقايا حيوانات وقواقع عائمة عادة حرارة سطح بحر بالوكالة وبصورة تقريبية.

أصبح الجو بارداً جداً قبل 74,000 عام بعد أن ملأ البركان الإندونيسي توبا (Toba) الجو في نصفي الكرة الأرضية (الشمالي والجنوبي) بالغبار ورذاذ الأحماض الكبريتيكية. عكس هذ الغبار السخونة والضوء[72]. فكان هناك إرجاء قصير بين 60,000 إلى 55,000 عام مضت عندما أصبح الجو أدفأ[73]، وبدأت التجلدات بالتراجع. ثم برد الجو ثانيةً في أوج العصر الجليدي الأخير قبل 21,000 إلى 17,000 عام. وكانت المناطق غير المغطاة بالثلج صحاري، وكان ريحها بارداً. وكان مستوى سطح البحر أخفض على الأقل بـ 130 متراً مما هو الآن. وخلال ذروة التجلد الأخير قبل20,000 عام، أظهرت ترسبات البحيرات في أفريقيا أن جفافاً، كان قد حلّ وكان مستوى البحيرات منخفضاً والرياح أقوى[74] وأشد.



الشكل 7: توزيع غابات المطر اليوم وتوزيع غابات الأمازون خلال ذروة التجليد الكبير الأخير تبين أن الغابات ديناميكية فهي تجيء وتذهب[75].

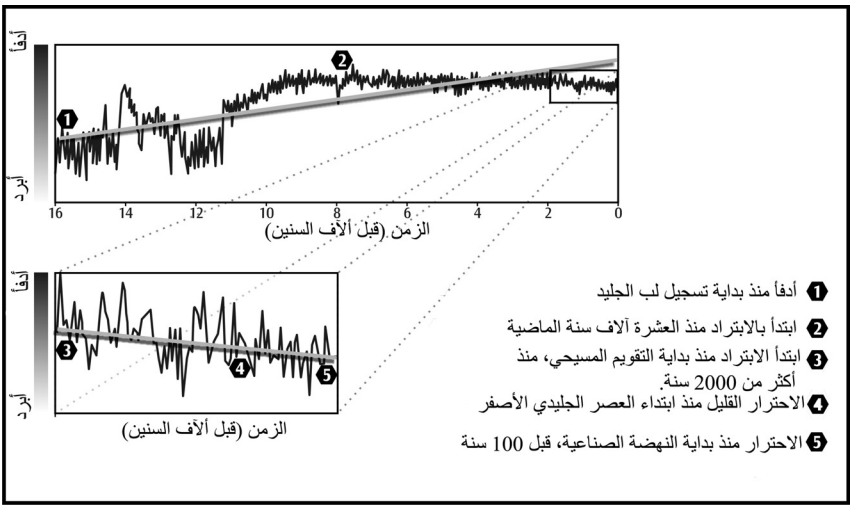
---

(72) M. R. Rampino, and S. Self, «Volcanic Winter and Accelerated Glaciations Following the Toba Super Eruption,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 50-52.

(73) N. Mikkelsen and A. Kuijpers, «The Climate System and Climate Variations,» *Geological Survey of Denmark and Greenland* (2001).

(74) M. L. Filippi, and M. R. Talbot, «The Palaeolimnology of Northern Lake Malawi Over the Last 25 ka Based on the Elemental and Stable Isotopic Composition of Sedimentary Organic Material,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 24 (2005), pp. 1303-1328.

(75) From: D. Simberloff, «Flagships, Umbrellas, and Keystones: Is Single-Species Management Passe in the Landscape Era,» *Biological Conservation*, vol. 83 (1998), pp. 247-257.


أدفأ
أبرد
16 14 12 10 8 6 4 2 0
الزمن (قبل ألاف السنين)
أدفأ
أبرد
الزمن (قبل ألاف السنين)
1 أدفأ منذ بداية تسجيل لب الجليد
2 ابتدأ بالابتراد منذ العشرة آلاف سنة الماضية
3 ابتدأ الابتراد منذ بداية التقويم المسيحي، منذ أكثر من 2000 سنة.
4 الاحترار القليل منذ ابتداء العصر الجليدي الأصفر
5 الاحترار منذ بداية النهضة الصناعية، قبل 100 سنة

الشكل 8: يبين احترار ما بعد التجلد التغير من درجة الحرارة المتقلبة بشكل غريب من التقلبات الحرارية السريعة إلى درجات الحرارة المستقرة للعصر ما بين الجليدي الحالي. وإن أي تغير مناخي معاصر يكون ضمن حدود الاختلاف التأريخي، ولأنه لا توجد تغيرات فوق العادة، يُستَنتَج أنه إما لا يوجد ثمة أثر لثاني أكسيد الكربون على المناخ أو أن تغيرات المناخ المعاصرة صغيرة جداً بحيث لا يمكن ملاحظة أثر ثاني أكسيد الكربون CO_2.

عاش الإنسان على حافة صفائح الجليد خلال فترة التجلّد هذه، في مناطق الجبال، وفي الأراضي المنبسطة الساحلية وبجانب المياه. وعلى الرغم من أن هناك ثلاثة أصناف بشرية عاشت في بداية العصر الجليدي الأخير على الأقل، استمر صنف واحد فقط مع نهاية العصر الجليدي.

وهذا الصنف هو نحن (Homo sapiens)، وكدنا ألاّ نصل.

نهاية التجمد

إن الأرض خالية من الجليد بطبيعتها.

لم تَحتر الأرض بصورة مستمرة، بعد العصر الجليدي الأخير. وتقلب المناخ بغرابة[76] وبشكل دوري[77]. ثم كان العصر المضاد للعصر الجليدي

(76) B. Wohlfarth [et al.], «Unstable Early-Holocene Climatic and Environmental Conditions in Northwestern Russia Derived from a Multidisciplinary Study of a Lake-Sediment Sequence from Pichozero, Southeastern Russian Karelia,» *The Holocene*, vol. 14 (2004), pp. 732-746.

(77) U. C. Müller [et al.], «Cyclic Climate Fluctuations during the Last Interglacial in Central Europe,» *Geology*, vol. 33 (2005), pp. 449-452.

الذي تبع العصر الجليدي هذا مقطعاً بشكل دراماتيكي بالابتراد مرات عدة، وكان درياس الأصغر أشد الفترات ابتراداً.

وتبدأ قصتنا في هذا الجزء مع نهاية العصر الجليدي الأخير، قبل 14,000 عام فقط. ومنذ ذلك الوقت، كان كوكب الأرض يتعافى من العصر الجليدي الأخير، وأخيراً، من العصر الجليدي القصير (1300 ـ 1850)، الذي شهد تقلباً بارداً ضمن العصر ما بين الجليدي (Interglacial) الحالي. وأصبحت الأرض خاليةً نسبياً من الجليد بعد العصر الجليدي، وبقيت هكذا. وارتفعت درجات حرارة غرينلاند أكثر من 20 درجة مئوية خلال 20000 عام منذ ذروة العصر الجليدي الأخير[78][79]. وما أن بدأ التجلد يفقد قبضته حتى ساد عدم استقرار في المناخ. وكانت الظروف أدفأ وأكثر مطراً بشكل عام مع تغيرات قصوى وسريعة في المناخ، وارتفع مستوى سطح البحر 130 متراً على الأقل خلال الـ 14,000 سنة الأخيرة، بمعدل وسطي يزيد على سنتيمتر واحد في العام. وارتفع مستوى سطح البحر أحياناً بسرعة، وفي أوقات أخرى ببطء. ولم يرتفع في أحيان أخرى أبداً، فيما كان ينخفض في بعض الأحيان. كانت معدلات درجة الحرارة ما بعد الجليدية ترتفع ويرتفع معها مستوى سطح البحر أسرع من أي تغير مشابه في القرن العشرين والذي يقدر بأقل من 0.5 درجة مئوية و1.5 ملليمتر بالعام. وحدث خلال الفترة ما بين 14,500 إلى 12,900 عام مضت[80] ارتفاع في مستوى سطح البحر مقداره عشرين متراً بنحو معدل وسطي مقداره 1.25 سنتيمتر في العام، أي ما يعادل عشرة أضعاف معدل ارتفاع سطح البحر في القرن العشرين.

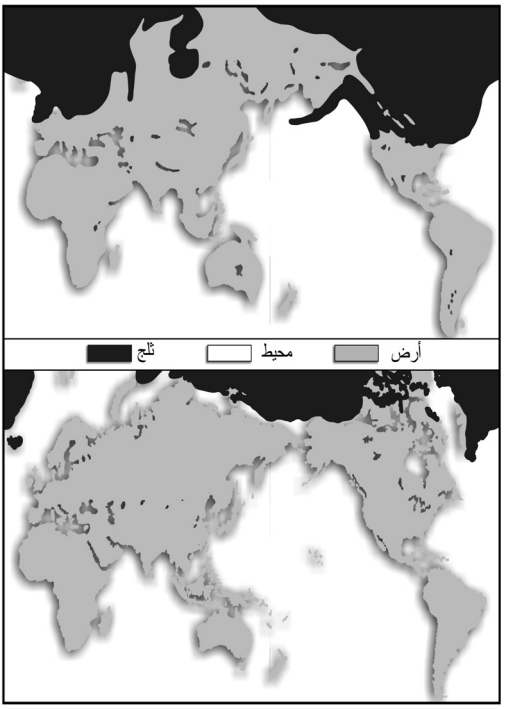
اتصلت ألاسكا وسيبيريا بأرض منبسطة ساحلية، فاض عليها ارتفاع لاحق في مستوى سطح البحر، أحدث مضيق بيرينغ (Bering Strait). وانسياب نهر على نحو مشابه، بين إنجلترا وفرنسا، وشكل ارتفاع البحر ما بعد الجليدي القناة الإنجليزية (English Channel). كما فصل الارتفاع ذاته إنجلترا واسكوتلندا

(78) P. A. Mayewski [et al.],»Major Features and Forcing of High Latitude Northern Hemisphere Atmospheric Circulation over the Last 110,000 Years,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 102 (1997), pp. 26345-26366.

(79) P. A. Mayewski [et al.], «Changes in Atmospheric Circulation and Ocean ice Over the North Atlantic during the Last 41,000,» *Science*, vol. 263 (1994), pp. 1747-1751.

(80) The 14,500-12,900 BP Bölling-Allerød Interstadial.

عن إيرلندا، وشكل أرخبيل شتلاندز (Shetlands) وجزر الأوركنيز (Orkneys). وانفصلت كورسيكا عن سردينيا بالمياه المرتفعة، كما انفصلت صقلية عن إيطاليا، وانخفضت مساحة جزر أخرى كثيرة انخفاضاً شديداً. وانفصلت اليابان عن اليابسة الآسيوية الرئيسية بارتفاع مستوى سطح البحر. وانقطع جسر أرضي بين البحر المتوسط والبحر الأسود بارتفاع مستوى سطح البحر، وكوّن ذلك البوسفور والبحر الأسود. وكانت بابوا في غينيا الجديدة، وأرض أستراليا وتاسمانيا أرضاً واحدة كبيرة حتى أحدث ارتفاع مستوى سطح البحر مضائق تورس وباس. وتغير خليج كاربنتاريا (Carpentaria) من بحيرة داخلية كبيرة إلى بحر ضحل. كما غُمرَت مناطق ساحلية كانت منخفضة عندما ارتفع مستوى سطح البحر، وانتقل السكان الذين كانوا على الساحل إلى الداخل، واندفعت النباتات والحيوانات نحو الجزر. وأدى اندفاع الحيوانات في مناطق كثيرة (على سبيل المثال، جزيرة ميلوس (Milos)، واليونان) إلى التقزيم[81].



الشكل 9: لذروة العصر الجليدي الأخير قبل 20,000 عام صفائح جليدية شمالية كثيرة (سوداء) مع ترابط بين مجموعات اليابسة الكبيرة، لأن مستوى سطح البحر كان أكثر انخفاضاً بـ 130 متراً من الآن (الرسم في الأعلى). ونتج من ذوبان صفائح الجليد ارتفاع في مستوى سطح البحر قدره 130 متراً، ما أوجد الجغرافيا الحالية (الرسم الأسفل).

وجاء ابتراد قصير حاد ضمن فترة احترار ما بعد التجمد الأخير من قبل

(81) I. R. Plimer, Milos-Geologic History. Koan (2001).

13,900 إلى 13,600 عام[82] ثم استمر الاحترار حتى 12,900 عام مضت عندما بدأت فترة ابتراد قصيرة أخرى[83]. وأؤكد أن الابتراد الشديد هذا كان بعد 1500 عام فقط من بداية تعافي الأرض من عصر جليدي رئيس.

تسمى هذه الفترة ذات البرودة الشديدة من قبل 12,900 إلى 11,500 سنة درياس الأصغر[84][85]. كانت فترةً باردةً جداً وقصيرة استمرت نحو 1300 سنة، حدث خلالها رجوع إلى التجلد الذي نجا منه نصف الكرة الشمالي. كما كانت بعض أجزاء من غرينلاند أبرد بخمس عشرة درجة مئوية من الآن، الخنافس المتحجرة في إنجلترا أظهرت أن درجة الحرارة انخفضت إلى -5 (ناقص) درجات مئوية، وتشكلت حينها مساحات الجليد والمجلدات (Glaciers). تظهر بقايا ترسبات لبحيرة في ألمانيا أن قوة الرياح في درياس الأصغر ازدادت بسبب تغير مفاجئ للرياح الغربية في الأطلسي الشمالي[86]. فاندفعت المجلدات، وانكسر الثلج ليشكل جبالاً جليدية ومجموعات جليدية عظيمة اندفعت بدورها جنوباً إلى مناطق على خطوط عرض أخفض. ونتج من تيارات المحيط المتغيرة، خلال درياس الأصغر، تغيرات في توزيع السخونة[87].

تطلب التغير من الاحترار إلى البرد القارس لدرياس الأصغر أقل من 100 عام وربما عقداً واحداً فقط. ولم يحدث تغير مناخي بهذا الحجم والسرعة والشدة منذ درياس الأصغر. قد يكون سببه التغير في وضع صفائح الجليد التي شهدت سدوداً من مياه جليدية ذائبة تسقط فجأةً في المحيط الأطلسي الشمالي[88]. إن حدثاً كهذا كان انكسار السد الهائل للأنقاض الجليدية لبحيرة أغاسيز (Agassis)

---

(82) درياس الأصغر قبل 13,900 ـ 13,600 سنة.

(83) ألرود الإستوديوم قبل 13,600 ـ 12,900 سنة.

(84) سمي درياس الأصغر بهذا الاسم نسبةً إلى وردة تندرا (Tundra) درياس أوكتوبتالا (Dryas Octopetala)

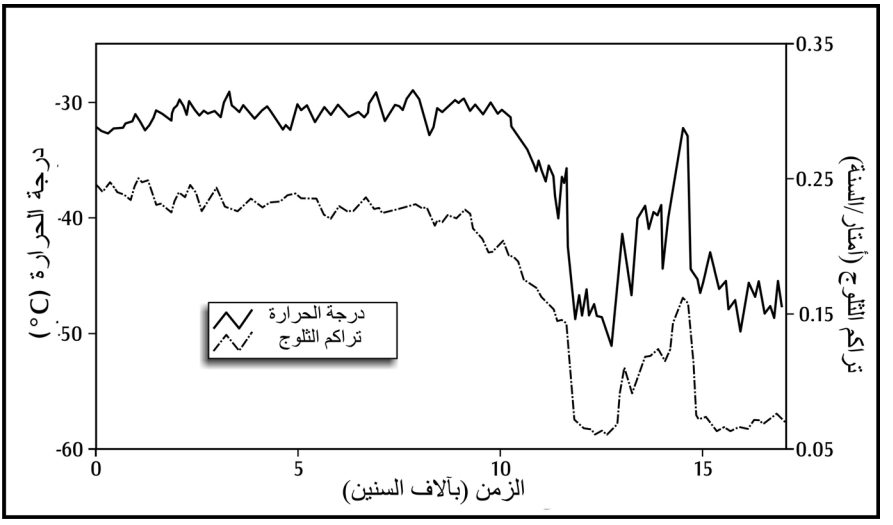
(85) درياس الأصغر قبل 13,900 ـ 11,500 سنة، يعرف أيضاً بالإستوديوم النهنغاني (Nahanagan Stadial) (إرلندا) وإستوديوم لوخ لوموند (Loch Lomond Stadial) (المملكة المتحدة).

(86) A. Brauer [et al.] «An Abrupt Wind Shift in Western Europe at the Onset of the Younger Dryas Cold Period,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 520-523.

(87) L. Tarasov and W. R.Peltier, «Arctic Freshwater Forcing of the Younger Dryas Cold Reversal,» *Nature*, vol. 435 (2005), pp. 662-665.

(88) A. Nesje, S. O. Dahl and J. Bakke, «Were Abrupt Late Glacial and Early-Holocene Climatic Changes in Northwest Europe Linked to the Freshwater Outbursts to the North Atlantic and Arctic Oceans?,» *The Holocene*, vol. 14 (2004), pp. 299-310.

الكبرى في شمال أميركا، التي ضخت كميات هائلة من الماء العذب البارد في المحيط الأطلسي الشمالي[89]. لقد غير الدخول المفاجئ لمياه ذائبة الشكل الذي كانت عليه الأرض، فحدث تآكل كبير للصفائح، وأخذت الأنهار طرقاً جديدة بالماء الفائض، وانهارت المجلدات وتغير دوران المحيط. وكان هذا الماء الفائض أقل كثافةً من مياه المحيط، فتجمد وقلل من دوران الأخير حتى اندمج الماء المالح الأعمق وماء السطح العذب اندماجاً كاملاً من جديد. كان تيار الخليج الدافئ مغطى بمياه شديدة البرودة، فأخذت المياه أكثر من ألف عام كي تندمج.



الشكل 10: اختلافات شديدة في درجة الحرارة حدثت نحو نهاية العصر الجليدي الأخير مع الابتراد المفاجئ في «درياس» الأصغر، وكان هناك احترار أسرع بعد درياس الأصغر واستقرار في درجة الحرارة خلال العصر ما بين الجليدي الحالي. ونتج من الأوقات الأكثر احتراراً ورطوبةً ترسباً أعلى ومزيداً من تراكم الجليد

قد يكون هناك سبب فلكي للبداية المفاجئة لـ «درياس» الأصغر. وأظهرت حلقات الربيع والصيف مقاطع الأشجار ارتفاعاً شديداً في تركيز الكربون (C^{14}) في بداية «درياس» الأصغر. ويمكن لهذه الزيادة في الكربون (C^{14}) أن تحدث فقط مع كميات متزايدة من الأشعة الكونية على سطح الأرض، أو مع نشاط شمسي

(89) W. S. Broecker [et al.], «Routing of meltwater from the Laurentide Ice Sheet during the Younger Dryas Cold Episode,» *Nature*, vol. 341 (1989), pp. 318-321.

متناقص، أو كلاهما[90]. وأيد ذلك قياسات عمق البحر[91] ولب الجليد[92][93] بزيادات في الكربون (C^{14})، والبريليوم (Be^{10}) 10، والكلور(Cl^{36})، التي تتشكل كلها نتيجة قصف الأشعة الكونية للغلاف الجوي والأرض.

غير أن هذا الأصل لـ «درياس» الأصغر لا يفسر سبب حدوث ابتراد مماثل في نصف الكرة الأرضية الجنوبي قبله، ولا يفسر سبب وصول داریاس الأصغر إلى نهاية مفاجئة قبل 11,530 عاماً ±50 (لب الجليد، غرينلاند[94] 11,530 عاماً ± 40 ـ 60 (بحيرة كراكانس، النرويج[95] 11,570 عاماً (لب حوض كارياكو، فنزويلا[96] 11,570 عاماً (حلقات الأشجار، ألمانيا[97] 11,640 عاماً ± 280 (لب جليد GISP2، غرينلاند[98]. ويقول اقتراح آخر عن درياس الأصغر إن الأثر الرجمي (الحجري النيزكي) ربما يكون خرق بحيرة أغاسز وضغط على حيوانات أميركية حتى انقرضت. وهناك دلائل على أثر من قبل 12,900 عام من طبقات رسوبية تحوي بصمات أصابع كيميائية، وماس صغير، وكرات جليدية من حجارة منصهرة ومتبخرة.

أدى الابتراد المفاجئ في درياس الأصغر إلى استبدال الغابة في

---

(90) R. Muscheler [et al.], «Tree Rings and Ice Cores Reveal C14 Calibration Uncertainties during the Younger Dryas,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 263-267.

(91) R. Muscheler, «Changes in Deep-Water Formation during the Younger Dry as Cold Period Inferred from a Comparison of Be10 and C14 Records,» *Nature*, vol. 408 (2000), pp. 567-570.

(92) F. Yiou, [et al.], «Beryllium 10 in the Greenland Ice Core Project ice core at Summit, Greenland,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 102 (1996), pp. 26783-26794.

(93) R. Muschleler, «Geomagnetic field intensity during the last 60,000 Years Based on Be10 & Cl36 from the Summit Ice Cores and C14,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 24 (2005), doi: 10.1029/2005JA011500.

(94) P. M. Grootes [et al.], «Comparison of Oxygen Isotope Records from GISP 2 and GRIP Greenland Ice Cores,» *Nature*, vol. 366 (1993), pp. 552-554.

(95) S. Gulliksen [et al.], «A Calendar Age Estimate of the Younger Dryas-Holocene Boundary at Krakenes, Western Norway,» *The Holocene*, vol. 8 (1998), pp. 249-259.

(96) K. A. Hughen, «The Nature of Varved Sedimentation in the Cariaco Basin, Venezuela, and its Palaeoclimatic Significance,» *Geological Society of London Special Publications*, vol. 116 (1996), pp. 171-183.

(97) K. A. Hughen [et al.], «Deglacial Changes in Ocean Circulation from an Extended Radiocarbon Calibration,» *Nature*, vol. 391 (1998), pp. 65-68.

(98) P. M. Grootes [et al.], «Comparison of Oxygen Isotope Records from the GISP2 and GRIP Greenland Ice Cores,» *Nature*, vol. 336 (1993), pp. 552-554.

اسكندنافيا بالتندرة الجليدية [التندرة سهل أجرد في المنطقة القطبية الشمالية]، وتقدم المجلدات وتساقط الثلج المتزايد، والرياح الشديدة التي تنقل الغبار من صحارى آسيا إلى الغلاف الجوي، وإلى ترسب الرمال التي تحملها الرياح[99] في آسيا، وإلى جفاف طويل الأمد في شرق البحر المتوسط. انخفض تيار يجري من الجنوب إلى الشمال في شمال الأطلسي[100]، فقد كانت حرارة سطح البحر في المحيط الأطلسي الجنوبي الاستوائي أدفأ، كما قلت رياح «المونسون» الموسمية الصيفية الأفريقية وعانى غرب أفريقيا الجفاف[101].

وقد يكون الابتراد في شمال المحيط الأطلسي قد سبق درياس الأصغر ببضع مئات من السنين. ويبدو أن فترةً باردةً قد بدأت في القطب الجنوبي قبل نحو 14,000 عام، أي قبل درياس الأصغر بألف عام. وبدأ الابتراد المفاجئ في أميركا الجنوبية في الوقت نفسه تقريباً عندما انتهى درياس الأصغر فجأةً. ويُظهِر لب جليد (Ice Core) ساجاما (بوليفيا) أنه قد يكون الابتراد بدأ في نصف الكرة الجنوبي قبل 14,000 عام، أي أبكر من النصف الشمالي للكرة الأرضية[102]. وكان نمو النبات في حوض الأمازون في ذلك الوقت، على سبيل المثال، أقل من الآن، وشمل مروجاً فيها أيكات (Copses) صغيرة من الأشجار.

تزامنت بداية درياس الأصغر مع التغيرات المنتشرة المفاجئة في حياة الحيوان، وتغيرات في التطور الثقافي الباليوليثي (Paleolithic) في القارة الأميركية، وانقراض الحيوانات الأميركية الكبيرة (بما فيها الماموث، والماستودون، والحصان، والكسلان الأرضي [حيوان أدرد أقام في أشجار الغابات الاستوائية بأميركا الجنوبية والوسطى])[103] ونهاية ثقافة الكلوفس

---

(99) Loess

(100) دوران الأطلسي الجنوبي المسقط.

(101) P. Chang [et al.], «Ocean Link between Abrupt Changes in the North Atlantic Ocean and the African Monsoon,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 444-448.

(102) L. C. Thompson [et al.], «Ice-Core Palaeoclimate Records in Tropical South America since the Last Glacial Maximum,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 15 (2000), pp. 377-394.

(103) G. Haynes, «The Catastrophic Extinction of North American Mammoths and Mastodonts,» *World Archaeology*, vol. 33 (2002), pp. 391-416.

(Clovis) وغيرها من الثقافات الباليوليثية[104]. وقد تكون زيادة الصيد الذي مارسه سكان كلوفس هي التي ساعدت على انقراض الحيوانات الكبيرة، أو قد يكون مرض وبائي، أو نتيجة ارتطام نيزكي أو كوكبي قد مهد لانقراضها[105][106].

يبدو أن نهاية درياس الأصغر حدثت خلال 40 ـ 50 عاماً ضمن ثلاث خطوات مختلفة، مدة كل واحدة منها خمس سنوات. وتشير بيانات أخرى إلى حدوث احترار مقداره سبع درجات مئوية فقط خلال بضع سنوات، وحدثت نصف فترة الاحترار خلال خمسة عشر عاماً. إن معدل احترار كهذا أعلى بكثير من أكثر الاحترارات الفاجعة الخطرة التي تشير إليها نماذج الاحترار الكوني التي يحدثها الإنسان. وكان الاحترار مشابهاً في درجة حرارته الاحترار الذي يحدث اليوم. وقد تأقلم الإنسان والحيوان والنبات مع الاحترار الكثيف السريع، وارتفاع مستوى سطح البحر السريع بعد درياس الأصغر، واستمر هذا الاحترار بعد درياس الأصغر لمدة 2600 عام.

لقد حدث تراكم الثلج السريع في غرينلاند مباشرةً بعد «درياس» الأصغر عندما جعل الاحترار الهواء يحمل مزيداً من الرطوبة[107]. ويمكن لارتفاع درجة حرارة واحدة على سطح البحر أن تجعل الهواء يحمل زيادة 7 في المئة من الرطوبة المتبخرة. وتراجعت صفائح الجليد بعد درياس الأصغر، كما توسعت الغابات بسرعة وارتفع مستوى سطح البحر. وحلت الأشجار محل العشب، ونبت العشب في الصحراء[108].

أعلنت نهاية درياس الأصغر بداية «الهولوسين»، أي زمن الإنسان الحديث. وكانت هذه المدة بعد درياس الأصغر قبل 11,500 إلى 8900 عام[109]. حدث

---

(104) A. D. Barnosky [et al.], «Assessing the Causes of Late Pleistocene Extinctions on the Continents,» *Science*, vol. 306 (2004), pp. 70-75.

(105) J. Alroy, «A Multispecies Overkill Simulation of End-Pleistocene Megafaunal Mass Extinction,» *Science*, vol. 292 (2001), pp. 1893-1896.

(106) D. K.Grayson and D. J. Meltzer, «Clovis Hunting and Large Mammal Extinction: A Critical Review of the Evidence,» *Journal of World Prehistory*, vol. 16 (2002), pp. 313-359.

(107) R. B. Alley [et al.], «Abrupt Increase in Greenland Snow Accumulation at the End of the Younger Dryas Event,» *Nature*, vol. 362 (1993), pp. 527-529.

(108) K. -C. Emeis and A. G. Dawson, «Holocene Palaeoclimate Records over Europe and the North Atlantic,» *The Holocene*, vol. 13 (2003), pp. 305-309.

(109) إن الاحترار الذي حدث قبل 11,500 -10,190 سنة هو ما قبل الشمالي والاحترار الذي حدث قبل 10,190 ـ 8,900 سنة هو الشمالي.

توسع سريع للغابات في النصف الشمالي من الكرة الأرضية[110]، على الرغم من تجريد الأرض بسبب الزراعة. وحث التغير في المناخ الإقليمي على تحرك مستوى الأشجار ارتفاعاً على السفوح وعلى تراجع المجلدات[111]. تبين دراسات نباتية عن الخث (Peat) وغبار الطلع، والبذور أخذت من ترسبات البحيرات[112][113]، أن تغيرات المناخ ومستوى سطح البحر كانت واسعة الانتشار ودورية[114][115][116]. وتغيرت نماذج هطول المطر الموسمي الصيفي من قارة إلى أخرى[117]، كما تغيرت نماذج انسياب الأنهار[118]، وتقلبت بعض المناطق بين الجفاف، مع بعض الحياة النباتية، إلى هطول وافر للأمطار مع حياة نباتية مورقة[119]. وعلى الرغم من أن الهولوسين كان دافئاً، فقد اعترضته فترات باردة قصيرة وحادة مرات عديدة. كان الاحترار «الهولوسيني» عالمياً[120]، وارتفع مستوى البحيرات في الأوقات الباردة بسبب قلة التبخر وتزايد المتساقطات، مع انخفاض في

(110) E. Gobet [et al.], «Early-Holocene Afforestration Processes in the Lower Subalpine Belt of the Central Swiss Alps as Inferred from Macrofossil and Pollen Records,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 672-686.

(111) K. -C. Emeis and A. C. Dawson, «Holocene Palaeoclimate Records over Europe and the North Atlantic,» *The Holocene* vol. 13 (2003), pp. 305-309.

(112) A. Feurdean, «Holocene Forest Dynamics in Northwestern Roumania,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 435-446.

(113) F. -H. Chen [et al.], «Holocene Environmental Change Inferred from the High-Resolution Pollen Record, Lake Zhueze, Arid China,» *The Holocene*, vol. 16 (2006), pp. 675-684.

(114) F. S. Hu [et al.], «Cyclic Variation and Solar Forcing of Holocene Climate in the Alaskan Subarctic,» *Science*, vol. 301 (2003), pp. 1890-1893.

(115) Z. Yu [et al.], «Carbon Sequestration in Western Canadian Peat Highly Sensitive to Holocene Wet-Dry Cycles at Millennial Timescales,» *The Holocene*, vol. 13 (2003), pp. 801-808.

(116) S. Yu, «Centennial-Scale Cycles in Middle Holocene Sea Level Along the Southeastern Baltic Coast,» *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 115 (2003), pp. 1404-1409.

(117) B. A. Maher and M. Hu, «A High-Resolution Record of Holocene Rainfall Variations from the Western Chinese Loess Plateau: Antiphase behavior of the African/Indian and East Asian Summer Monsoons,» *The Holocene*, vol. 16 (2006), pp. 309-319.

(118) M. G. Macklin, E. Johnstone and J. Lewin, «Pervasive and Long-Term Forcing of Holocene Reiver Instability and Flooding in Great Britain by Centennial-Scale Climate Change,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 937-943.

(119) Z.-D. Feng, C. B. An and H. B. Wang, «Holocene Climatic and Environmental Changes in the Arid and Semi-Arid Areas of China: A Review,» *The Holocene*, vol. 16 (2006), pp. 119-130.

(120) Y. Enzel [et al.], «High-Resolution Holocene Environmental Changes in the Thar Desert, Northwestern India,» *Science*, vol. 284 (1999), pp. 125-128.

أوقات الدفء استجابةً للتغيرات في المناخ[121]. كذلك، خفض ذوبان الثلج في الأوقات الدافئة من ملوحة البحار، بعد أن كانت البحار في أوقات أبرد أكثر ملوحةً[122]. وكانت هناك رياح عالية في الأوقات الباردة نتج منها الجفاف، وعواصف غبارية، وكثبان رملية وتصحر[123]. ويمكن قياس المناخات ما بعد الجليدية المتقلبة من حشرات أحفورية في رواسب كلسية (Stalagmite) في بعض المغاور والكهوف[124]. إن الرواسب الكلسية هذه دلائل جيدة على درجة الحرارة، كما يمكن تحديد تأريخ تشكل كل طبقة بالكربون 12 أو بتقنيات الثوريوم ـ اليورانيوم. وتكون الكهوف عادة محمية من التغيرات البيئية الأسرع التي تحدث خارجها.

ربما كانت انهيارات سدود ثلجية ذائبة سبّبت فترة ابتراد أخرى قبل 8900 إلى 8500 عام[125]. وكانت هذه سلسلة أحداث منتشرة، وربما عالمية[126]. لقد تبع انهيار سد ثلجي في أقصى شمال كندا قبل 8500 عام، فترة باردة جداً مناخها رياحي جليدي، امتدت 500 عام[127][128]، شبيهة بدرياس الأصغر. ويُظهر لبُ جليد غرينلاند أن فترة باردة كانت هناك قبل 8400 إلى 8000 عام[129]. وكان

---

(121) M. Magny [et al.], «Reconstruction and Palaeoclimatic Interpretation of Mid-Holocene Vegetation and Lake-Level Changes at Saint-Jorioz, Lake Annecy, French Pre-Alps,» *The Holocene*, vol. 13 (2003), pp. 265-275.

(122) K. - C. Emeis [et al.], «Salinity Changes in the Central Baltic Sea (NW Europe) over the Last 10,000 Years,» *The Holocene*, vol. 13 (2003), pp. 411-421.

(123) X. Miao [et al.], «A 10,000 Year Record of Dune Activity, Dust Storms, and Severe Drought in the Central Great Plains,» *Geology*, vol. 35 (2007), pp. 119-122.

(124) V. J. Polyak [et al.], «Wetter and Cooler Late Holocene Climate in the Southwestern فـــي United States from Mites Preserved in Stalagmites,» *Geology*, vol. 29 (2001), pp. 643-646.

(125) D. C. Barber [et al.], «Forcing of the Cold Event 8,200 Years Ago by Catastrophic Draining of Laurentide Lakes,» *Nature*, vol. 400 (1999), pp. 344-248.

(126) D. C. Douglass [et al.], «Evidence of Early Holocene Glacial Advances in Southern South America from Cosmogenic Surface-Exposure Dating,» *Geology*, vol. 33 (2005), pp. 237-240.

(127) J. T. Andrews and G. Dunhill, «Early to Mid-Holocene Atlantic Water Influx and Deglacial Meltwater Events, Beaufort Sea Slope, Arctic Ocean,» *Quaternary Research*, vol. 61 (2004), pp. 14-21.

(128) B. Lauriol, and J. T. Gray, «The Decay and Disappearance of the Late Wisconsin Ice Sheet in the Ungava Peninsula, Northern Quebec, Canada,» *Arctic & Alpine Research*, vol. 19 (1987), pp. 109-126.

(129) E. J. Rohling, and H. Pälike, «Centennial-Scale Climate Cooling with a Sudden Event Around 8,200 Years Ago,» *Nature*, vol. 434 (2005), pp. 975-979.

هناك أيضاً مزيد من غبار ورذاذ بحر محفوظ في طبقات لب الجليد في ذلك الوقت، ورافقه تناقص في محتوى ميثان الجو[130]. كما غطت طبقة مياه عذبة باردة مياه الخليج المالحة الأدفأ، وهكذا جلبت تيارات المحيط سخونة إلى مناطق بعيدة عن خط الاستواء. ومرةً أخرى، كانت هناك جبال جليد كبيرة في المحيطات قبل 8300 عام خلت[131]، كما كان الحال في «درياس» الأصغر.

قد تكون التغيرات في المناخ ما بعد الجليدي، وبخاصة خلال درياس الأصغر، قد حثت على تطور الزراعة والعناية بها، وتكاثر الحيوانات في المشرق في ذلك الوقت[132]. ومع أن المناخ كان يتغير تغيراً كبيراً خلال الفترة ما بعد الجليدية، إلا أن التغير الشمسي أثر في المناخ، وأثر بالتالي في تطور الثقافة الإنسانية[133]. بنى الناس قرىً بدلاً من استمرارهم بالعمل كصيادين، وبدو رحّل. وانتقل سكان اليابسة العليا في الفترة الباردة قبل 8500 إلى 800 سنة، إلى مناطق أقل علواً. وكان مستوى سطح البحر في ذلك الوقت أدنى بثلاثة أمتار من الآن. وانخفض الخط الشجري واستجابت الحياة النباتية في جبال الألب الأوروبية لأوقات أبرد[134]. وهجر سكان المناطق الأناضولية العليا قراهم[135]، وانتقلوا إلى مروج حوض البحر الأسود الذي تبلغ مساحته 160,000 كيلومتر مربع[136].

يعرف أن نحو ربع حوض البحر الأسود منبسطاً، يقع دون 100 متر من مستوى سطح البحر اليوم. وكانت هذه السهول الغنية مثاليةً للرعي. فنما القمح، وأسست القرى، وغذت الأنهار الكبيرة (الدون (Don)، والدنيبر

---

(130) R. B. Alley [et al.], «Holocene Climate Instability; A Prominent Widespread Event 8200 yr ago,» *Geology*, vol. 25 (1997), pp. 483-486.

(131) G. Clarke [et al.], «Superlakes, Megafloods, and Abrupt Climate Change,» *Science*, vol. 301 (2003), pp. 922-923.

(132) J. Feynman and A. Ruzmaikin, «Climate Stability and the Development of Agricultural Societies,» *Climate Change*, vol. 84 (2007), pp. 295-311.

(133) J. Feynman, «Has Solar Variability Caused Climate Change that Affected Human Culture,» *Advances in Space Research*, vol. 40 (2007), pp. 1173-1180.

(134) W. Koffler [et al.], «Vegetation Responses to the cal.BP Cold Event and to Long-Term Climatic Changes in the Eastern Alps: Possible Influence of Solar Activity and North Atlantic Freshwater Pulses,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 779-788.

(135) U. Esin, *Asikli, Ten Thousand Years Ago: A Habitation Model from Central Anatolia* (Istanbul: Tarih Vakfi, 1996).

(136) Ian Wilson, *Before the Flood* (London: Orion, 2001).

(Dnieper) والدانوب (Danube)) بحيرتين مليئتين بالمياه العذبة اللتين أصبحتا منذ ذلك الحين مغمورتين بالبحر الأسود.

بدأ الاحترار في النصف الشمالي للكرة الأرضية مرة أخرى قبل نحو 8100 عام[137] واستمر حتى قبل 4030 عاماً[138]. وكان الجو دافئاً في غرينلاند على غير العادة، حينما حدث في ذلك الوقت الذوبان الصيفي الأكبر للجليد، خلال السنين الـ 10,000 الماضية. وكان الجو بارداً جداً في القطب الجنوبي خلافاً لذلك. وهذا يعني وجود تأرجح قطبي (على سبيل المثال، شذوذ مناخي في القطب الجنوبي) مع احترار يتقلب بين نصفي الكرة الأرضية[139]. كان القطب الشمالي خلال ذروة الهولوسين أدفأ بثلاث درجات مئوية من اليوم. وتبين بقايا أحفوري البحيرات والغبار في إيسلاندا أن درجة حرارة ضمن مستوى سطح البحر قبل نحو 8000 سنة كانت أدفأ بدرجة ونصف مئوية من الآن، وربما أعلى بدرجتين أو ثلاث من معدل 1961 ـ 1990. وكان هذا الدفء في إيسلاندا، بعد الدفء المشابه في غرينلاند وشرق القطب الشمالي الكندي بقليل[140]، حدثاً عالمياً، كما سجل في الترسبات الكلسية الصاعدة أو «صواعد الكهوف» (Stalagmites) في نيوزيلندا حيث كانت درجة الحرارة أدفأ على الأقل بـ 2.3 درجة مئوية[141].

تبين الرسومات التي خطّها الإنسان القديم على الصخور أن الصحراء (Sahara) كانت خلال الهولوسين الأول، تحوي مجموعة من الحيوانات والبشر. وأنها الآن صحراء جافة غير آهلة بالطبع. وتظهر الرسومات، بتنوع الأساليب التي لا بد أن تمثل آلاف السنين من النشاط الفني، أن الصحارى كانت ممطرة بما يكفي لدعم قطعان من الزرافات، والبرنيق، والفيلة التي تشبه السرنغتي (Serengeti) اليوم. وتعود رسومات القطعان التي تظهر الصحارى أكثر خصباً،

---

(137) A. E. Viau [et al.], «Widespread Evidence of 1500 yr Climatic Variability in North America during the Past 14,000 yr,» *Geology*, vol. 30 (2002), pp. 455-458.

(138) Atlantic I Warming 8,100-6,700 Years BP and Atlantic II Warming 6,700-4,030 Years BP.

(139) N. Shackleton, «Climate Change Across the Hemispheres,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 58-59.

(140) C. Caseldine [et al.], «Early Holocene Climate Variability and The Timing and Extent of Holocene Thermal Maximum (HTM) in Northern Iceland,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 25 (2006), pp. 2314-2331.

(141) P. W. Williams [et al.], «Palaeoclimatic Interpretation of Stable Isotope Data from Holocene Speleotherms of the Waitomo District, North Island, New Zealand,» *The Holocene*, vol. 9 (1999), pp. 649-657.

إلى ما قبل نحو 6000 عام[142]. لقد كانت الصحراء الغربية في مصر مروجاً خضراً خدمتها الموسميات بين 7000 و4300 عام قبل الميلاد[143]. وكان رعاة الماشية البدو يشغلون هذه المنطقة موسمياً. كما أظهرت أحد الدراسات التي اعتمدت مجموعة من 500 تاريخ مشتق من كربون 14 (C^{14}) وخصائص رسوبية من البحيرات، والأتربة والأودية والمواقع الأركيولوجية في مصر وشمال السودان، أن المنطقة كانت دافئة، وممطرةً وملائمة للحياة في الفترة من 7000 إلى 4000 عام قبل الميلاد. وكان مستوى سطح البحر العالمي في ذاك الوقت أعلى بمترين من الآن[144] وبقي ضمن هذا المستوى حتى ما قبل 3000 عام[145][146]. وربما كانت تلك ذروة الفترة ما بين الجليدية.

سبَّبَ تغير المناخ بأقصى حدوده، والجفاف المطول في الأزمنة البدائية القديمة والحجرية سقوط الحضارات. وعندما أصبحت الصحراء الغربية جافة، نحو 4300 عام قبل الميلاد، نتيجة التغيرات في قوة الأمطار الموسمية (المونسون)، تناقص عدد سكان المنطقة. وبالتزامن مع ذلك، بدأ سكان وادي النيل بعبادة الحيوانات وتشييد العمارة الحجرية[147]. الجفاف ذاته تمّت رؤيته في السهل[148]. وشهدت المنطقة تصحراً، حرض الابداع التكنولوجي، والهجرة، والاستقرار في أماكن أخرى والتطور الإضافي للجماعات الزراعية في ثقافات معقدة[149][150].

---

(142) H. Lhote, *The Search for the Tassili Frescoes* (New York: Dutton, 1958).

(143) الاحترار ما بعد الشمالي.

(144) S. A. Woodroffe, and B. P. Horton, «Holocene Sea-Level Changes in the Indo-Pacific,» *Journal of Asian Earth Sciences*, vol. 25 (2005), pp. 24-39.

(145) C. R Sloss, C. V. Murray-Wallace and B. G. Jones, «Holocene Sea-Level Change on the Southeast Coast of Australia: A Review,» *The Holocene*, vol. 17 (2007), pp. 999-1014.

(146) C. C. Von der Borch [et al.], «Environmental Setting and Microstructure of Subfossil Lithified Stromatolites Associated with Evaporates, Marion Lake, South Australia,» *Sedimentology*, vol. 24 (1977), pp. 693-708.

(147) H. Dalfes, George Kukla, and Harvey Weiss eds., *Third Millennium BC Climate Change and Old World Collapse* (New York: Springer, 1997).

(148) H. J. Dumont, «Neolithic Hyperarid Period Preceded the Present Climate of the Central Sahel,» *Nature*, vol. 274 (1978), pp. 356-358.

(149) K. Nicoll, «Recent Environmental Change and Prehistoric Human Activity in Egypt and Northern Sudan,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 23 (2004), pp. 561-580.

(150) K. Nicoll, «Radiocarbon Chronologies for Prehistoric Human Occupation and Hydroclimatic Change in Egypt and Northern Sudan,» *Geoarchaeology*, vol. 16 (2000), pp. 47-64.

كانت المنطقة مهجورةً كلياً فقد هاجر السكان جنوباً حيث كانت الزراعة قائمة على الري عندما بدأ جفاف طويل في شمال بلاد ما بين النهرين نحو 4200 عام قبل الميلاد. وكان هناك انهيار مشابه لثقافات العصر الحجري حول مركز الصين في الوقت ذاته، مع جفاف في الشمال وفيضان في الجنوب[151]. وأتى ذلك بعد فترة دافئة وممطرة (6000 ـ 5800 عام قبل الميلاد) عندما كانت النباتات الاستوائية وافرة في الصين. واختفى الاستقرار الإنساني في دلتا يانغ تسي (Yangtze Delta) من 5240 ـ 3320 عاماً قبل الميلاد، كنتيجة للفيضان وارتفاع المياه خلال الأوقات الباردة الممطرة[152]. وعاد السكان إلى الدلتا حيث تراجعت مستويات البحر وتطورت في الفترة ما بين 2410 ـ 1250 قبل الميلاد. وبدأ حدث ابترادي مدته 200 عام نحو 2200 عام قبل الميلاد، وهاجر الناس من الجبال إلى مناطق الدلتا المنخفضة[153].

حدثت تغيرات حضارية عميقة في منتصف الهولوسين (1000 ـ 6000 عام قبل الميلاد) ربما حركتها تغيرات مناخية سريعة[154]. فقد كشف تراجع الجليد في شنيدجوخ (Schnidejoch) (سويسرا) في صيف عام 2003 عن امتداد استمر 4700 عام. ولا بد أن «الشنيدجوخ» كان طريقاً قصيرة غير متجمدة حول جبال الألب حوالى عام 2700 قبل الميلاد. وأظهر بحث تالٍ أن أربع فترات مرت خلال السنين الـ 5000 الماضية عندما كان الشنيدجوخ أدفأ من اليوم[155]. وكانت أدفأ أيضاً في نصف الكرة الجنوبي حيث أظهرت سطوح شواطئ قديمة أن مستوى سطح البحر بين 5600 إلى 4040 سنة مضت كان 1.7 متر أعلى من الآن[156].

---

(151) W. Wenxiang and L. Tungsheng, «Possible Role of the «Holocene Event3» on the Collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China,» *Quaternary International*, vol. 117 (2004), pp. 153-166.

(152) S. Yu [et al.], «Role of Climate in the Rise and Fall of Neolithic Cultures on the Yangtze Delta,» *Boreas*, vol. 29 (2008), pp. 157-165.

(153) Z. Chen, Z. Wang, and J. Schneiderman, «Holocene Climate in the Yangtze Delta of Eastern China and the Neolithic Response,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 915-924.

(154) D. H. Sandweiss, K. A. Maasch and D. G. Anderson, «Transition in the Mid-Holocene,» *Science*, vol. 283 (1999), pp. 499-500.

(155) Henrik Svensmark and Nigel Calder, *The Chilling Stars: A New Theory of Climate Change* (Cambridge, MA: Icon, 2007).

(156) R. Beaman, P. Larcombe and R. M. Carter, «New Evidence for the Holocene Sea-Level High from the Inner Shelf, Central Great Barrier Reef, Australia,» *Journal of Sedimentary Research*, vol. 64a (1994), doi:10.1036/D4267EF1-2B26-11D7-8648000102C1865d.

تشمل أحداث أو معالم أخرى من هذا الوقت متاريس الهيكل الأول للبيرو (Peru)، والأهرامات الأولى لمصر، والمجتمعات الزراعية المستقرة عالمياً ونشأة الحضارات وسقوطها في الشرق الأدنى. وكان التذبذب الجنوبي «إل نينو» غائباً من عام 6900 إلى عام 3800 قبل الميلاد[157] على الرغم من حرارة سطح البحر الأدفأ من اليوم[158] والمياه الاستوائية الدافئة جنوباً حتى مستوى 10°S[159]. أظهر لب جليد آندين، وترسبات البحيرات في الإكوادور، وتشيلي وجزر الغالاباغوس تغيراً متزايداً في هطول الأمطار بعد عام 3800 قبل الميلاد. وأظهرت طبقات غبارية من أستراليا انتقالاً إلى اهتزاز إل نينو الجنوبي[160] (El Niño-Southern Oscillation) الذي ساد على نظام المناخ مع تغير واختلاف أكبر قبل نحو 4000 عام[161]. يمكن رؤية انتقال مشابه إلى الظروف الحديثة نحو عام 3800 قبل الميلاد في شمال غرب المحيط الهادي[162].

تغير المناخات المتغيرة أنظمة البيئة. وهذا موثق جيداً في الكتابات والمراجع العلمية. فعلى سبيل المثال، أظهرت دراسات الترسبات على مدى السنين الـ 6000 الأخيرة أن الصحارى تغيرت من بيئة دافئة خضراء وممطرة إلى صحراء قبل حوالى 2700 عام[163]. وهذا يتماشى مع دلائل علوم الآركيولوجيا[164]، والجيولوجيا[165]،

---

(157) D. H. Sandweiss [et al.], «Geoarchaeological Evidence from Peru for a 5000 Years B. P. Onset of El Niño,» *Science*, vol. 273 (1996), pp. 1531-1533.

(158) M. K.Gagan [et al.], «Temperature and Surface-Ocean Water Balance of the Mid-Holocene Tropical Western Pacific,» *Science*, vol. 279 (1998), pp. 1014-1018.

(159) M. K.Gagan [et al.], «New Views on Tropical Palaeoclimates from Corals,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 19 (2000), pp. 45-64.

(160) سنتحدث بتفصيل أكثر عن اهتزاز إل نينو الجنوبي في الفصل السادس: المياه.

(161) J. Schulmeister, and B. G. Lees, «Pollen Evidence from Tropical Australia for the Onset of the ENSO-Dominated Climate at c. 4000 BP,» *The Holocene*, vol. 5 (1995), pp. 10-18.

(162) K. A. Lutaenko, «Climatic Optimum during the Holocene and the Distribution of Warm Water Mollusks in the Sea of Japan,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 102 (1993), pp. 273-281.

(163) S. Kröpelin [et al.], «Climate-Driven Ecosystem Succession in the Sahara: The Past 6000 Years,» *Science*, vol. 320 (2008), pp. 765-768.

(164) R. Kuper, and S. Kröpelin, «Climate-Controlled Holocene Occupation in the Sahara: Motor of Africa's Evolution,» *Science*, vol. 313 (2006), pp. 8803-807.

(165) D. Verschuren, «Holocene Climate Variability in Europe and Africa: A PAGES PEP III Time-Stream Synthesis,» in: Richard W. Battarbee, Françoise Gasse and E. Catherine (eds.), *Past Climate Variability Through Europe and Africa* (Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2004), pp. 567-582.

والطبقات الغبارية الأحفورية[166][167]، وترسبات غبار الصحارى في ترسبات قاع المحيط الأطلسي[168]. ولم تكن تلك نهاية العالم، ولكنها عنت ببساطة أن نظام البيئة الأجف بدّل نظاماً آخر مبتلاً أكثر. وتظهر هياكل السليكا (ثاني أكسيد السيليكون) للهائمات، والكربون والنيتروجين العضوي من ترسبات بحيرات في جنوب غرب ألاسكا، اختلافات دورية متشابهة لتلك التي وجدت في المحيط الأطلسي الشمالي، بعيداً عن الشاطئ الغربي لأفريقيا وغرينلاند[169].

لقد تغير المناخ نحو عام 3800 قبل الميلاد، من الجفاف والبرودة التي تميزت بها الـ 400 عام السابقة لهذا التأريخ والتي أدت إلى انهيار الحضارات الصحراوية وحضارات بلاد ما بين النهرين، إلى أوقات أدفأ وأكثر مطراً. وكانت درجة الحرارة أدفأ من حرارة اليوم بحوالى درجتين مئويتين. وعندما أصبحت الصحارى، والصحارى العربية أكثر مطراً وانتقل الناس إلى هذه المناطق طلباً للصيد، والرعي وبعض الزراعة[170]، كان باقي أفريقيا دافئاً أيضاً[171]. وهكذا فالحضارات تتأقلم مع المناخ المتقلب. ترافق مع هذه التغيرات تغيرات في الحِمية، والزراعة، وصناعة الفخار والأدوات، ولعل هذه التغيرات حركتها بدايةً عودة إل نينو.

بعد هذا الاحترار حدث ما لم يمكن تجنبه، وأصبح الجو بارداً مرةً أخرى، ووصلت ذروتها نحو 3600 إلى 3300 عام قبل الميلاد. وضربت

---

(166) U. Salzman, Hoelzmann and I. Morczinek, «Late Quaternary Climate and Vegetation of the Sudanian Zone of Northeast Nigeria,» *Quaternary Research*, vol. 58 (2002), pp. 73-83.

(167) M. P. Waller, F. A. Street-Perrott and H. Wang, «Holocene Vegetation History of the Sahel: Pollen, Sedimentological and Geochemical Data from Jikariya Lake, North-Eastern Nigeria,» *Journal of Biogeography*, vol. 34 (2007), pp. 1575-1590.

(168) P. B. DeMenocal, «Cultural Responses to Climate Change Over the Last 1000 Years,» *Science*, vol. 289 (2001), pp. 270-277.

(169) F. S. Hu [et al.], «Cyclic Variation and Solar Forcing of Holocene Climate in the Alaskan Subarctic,» *Science*, vol. 301 (2003), pp. 1890-1893.

(170) J. Malek, «The Old Kingdom (c.2686-2160BC),» in: Ian Shaw, *The Oxford History of Ancient Egypt* (Oxford; New York: Oxford University Press, 2003).

(171) V. F. Nguetsop, S. Sevant-Vildary and M. Servant, «Late Holocene Climatic Changes in West Africa, a High Resolution Diatom Record from Equatorial Camerron,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 23 (2004), pp. 561-609.

التجلدات الألبية أوروبا، انتهى رعي المواشي في ما هو معروف الآن الصحارى، وتفرق سكان الصحارى في غرب أفريقيا ومصر. تظهر سجلات طبقات غبارية في ترسبات بحيرات يونانية أن الزحرجة (زوال الأحراج) الكبيرة حدثت في أوائل العصر البرونزي (3500 ـ 3100 عام قبل الميلاد)[172]، ربما استجابة للمناخ البارد[173][174]. وأدى الرعي والزرع على المنحدرات العالية إلى تآكل مفجع أنتج مناظر قاحلة لا تزال تميز كثيراً من اليونان المعاصرة[175].

تشير الأساطير اليونانية إلى حلول التصحر، والفيضانات، وامتلاء قنوات الري بالطمي وتملح المدن السومرية وانهيارها[176]. وتصف السجلات المكتوبة التي تعود إلى 5000 عام خلت انخفاض نمو المحاصيل وتناقص إنتاج القمح مقارنةً بازدياد الشعير الذي يتحمل ملوحة أكثر. وأصبحت مساحات من التربة بيضاء[177]، مما يدل على تراكم الملح على سطح المناطق الزراعية، وحالت الظروف الأكثر جفافاً دون رحض الملح من الحقول.

تبعت هذه الفترة الجافة والباردة فترةً دافئة. وترعرعت الحضارة خلال هذه الفترة الدافئة بين سكان يعيشون على ضفاف نهر النيل[178]. فكان النيل السفلي مهداً من مهاد الحضارات، اعتمد فيها الناس على فيضان النيل العلوي، مثلما هو الحال في مصر اليوم. وحتى اليوم، يعتمد نحو 300 مليون شخص على نهر النيل في الغذاء. لقد شهد النيل فيضانات مخيفة في فترات سلفت بين 14,700

---

(172) إن عبارات مثل العصر البرونزي والعصر الحديدي مصطلحات زمن تفسيرية في النصف الشمالي من الكرة الأرضية (وبخاصة في أوروبا القارية والمتوسطية والمملكة المتحدة).

(173) M. Atherden, J. Hall and J. C. Wright, «A Pollen Diagram from the Northeast Peloponnese, Greece: Implications for Vegetation History and Archaeology,» *The Holocene*, vol. 3 (1993), pp. 351-356.

(174) S. Jahns, «On the Holocene Vegetation History of the Argive Plain (Peloponnese, Southern Greece),» *Vegetation History and Archaeobotany*, vol. 2 (1993), pp. 187-203.

(175) T. H.Van Andel, E. Zangger and A. Demitrack, «Land Use and Soil Erosion in Prehistoric and Historic Greece,» *Journal of Field Archaeology*, vol. 17 (1990), pp. 379-396.

(176) R. Carpenter, *Discontinuity in Greek Civilization* (Cambridge, MA; London: Cambridge University Press, [1966]).

(177) T. Jacobsen and R. M. Adams, «Salt and Silt in Ancient Mesopotamian Agriculture: Progressive Changes in Soil Salinity and Sedimentation Contributed to the Breakup of Past Civilizations,» *Science*, vol. 128 (1958), pp. 1251-1258.

(178) المينيس (Menes) المصري الفترة الدافئة الأولى في المملكة المتحدة من سنة 2,686 إلى 2,160 قبل الميلاد.

إلى 13,100 عام وقبل 9700 إلى 9000 عام، وقبل 7900 إلى 7600 عام، وقبل 6300 و3200 إلى 2800 عام. ازدهرت المملكة المصرية القديمة (2350 ـ 2200 عام قبل الميلاد) على ضفاف النيل خلال أوقات دافئة، وكانت هذه فترة قصيرة بسبب تغيرات المناخ التالية التي لم يكن ممكناً تجنب حدوثها.

رافق الفترة الباردة التالية حوالى عام 2200 قبل الميلاد جفاف كارثي، ثم ابتراد شديد في النصف الشمالي من الكرة الأرضية قبل 4030 عام[179]. وسجل هذا أيضاً في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية. وتبين ترسبات الكهوف في نيوزيلندا درجة حرارة تقل عن 1.5 درجة مئوية[180]. وكان هذا جفافاً شديداً حركته الشمس وأدى إلى مجاعة واسعة[181]. ثم انهارت الامبراطوريات، وكانت الفترة الممتدة بين عامي 2200و1900 قبل الميلاد عصراً مظلماً بالنسبة إلى السلالة الحاكمة المصرية السادسة التي انتهت بفوضى عارمة. وتفككت الأمبراطورية الأكدية، ودمّرت بيبلوس وغيرها من المدن في سورية، تبعها دمار طروادة وسقوط حضارة وادي الإندوس (Indus Valley) (على سبيل المثال، هارابان (Harappan))[182]. وهاجر سكان أوروبا الهندو ـ أوروبيين من شمال أوروبا إلى جنوبها، واليونان، وجنوب روسيا، وتركيا، وإيران، والهند وكسنيانغ (شمال غرب الصين)[183]. وتقدمت صفائح الجليد في جبال الألب السويسرية.

حكمت الامبراطورية الأكدية منطقةً شاسعة امتدت من منابع نهري دجلة والفرات حتى الخليج العربي. إلاّ أن الجفاف والرياح المتزايدة في سهول الخابور السورية كانت أعلنت بداية سنوات الجفاف العجاف على المنطقة التي

---

(179) التبريد Suboreal قبل 4,030 ـ 2,850 سنة.

(180) P. W. Williams [et al.], «Palaeoclimatic Interpretation of Stable Isotope data from Holocene Speleotherms of the Waitomo District, North Island, New Zealand,» *The Holocene*, vol. 9 (1999), pp. 649-657.

(181) B. Bell, «Climate and the History of Egypt: The Middle Kingdom,» *American Journal of Archaeology*, vol. 79 (1975), pp. 223-269.

(182) B. Bell, «The Dark Ages in Ancient History,» *American Journal of Archaeology*, vol. 75 (1971), pp. 1-26.

(183) K. J. Hsu, *Climate and People: A Theory of History* (Zurich: Orell Fussli, 2000).

P. deMenocal [et al.], «Coherent High-and Low-Latitude Climate Variability during the Holocene Warm Period,» *Science*, vol. 288 (2000), pp. 2198-2202.

امتدت 300 عام. وعادةً يشيع الغبار الذي تقذفه الرياح في فترات المناخ البارد عندما تسود الرياح والجفاف أكثر[184]. لقد اعتمدت بلاد ما بين النهرين الشمالية على الأمطار المنتظمة، وبعد أربعة قرون من الحياة المدينية في تل ليلان (Tell Leilan)، هُجِرت المدينة. وأدى ذلك إلى انهيار الامبراطورية الأكدية. هذا ويُظهِر الانهيار المتزامن لحضارات متجاورة أو في مناطق قريبة من بعضها أن التغير المفاجئ للمناخ كان واسعاً[185]. وعلى الرغم من أن الحضارات انهارت خلال الابتراد والتصحر، فقد استطاع بعض الناس التأقلم مع تغير المناخ، وبخاصة الاحترار[186].

تظهر المترسبات التي قذفتها الرياح في خليج عمان أن فترة رياح كثيفة دامت 300 عام قد ابتدأت عام 125±2562 قبل الميلاد. وهذه الرياح هي من مؤشرات الجفاف. وقد كان الغبار الذي تقذفه الرياح مستمداً معظمه من شمال بلاد ما بين النهرين[187]. وربما كانت تيارات المحيط الضعيفة في نصف الكرة الأرضية الشمالي هي التي سببت الابتراد والتصحر في هذا الوقت[188]. ويُظهِر لب الجليد من التجلد في جبل كليمنجارو تغيرات مناخية مفاجئة بما فيها جفاف مدته 300 سنة حوالى عام 2000 قبل الميلاد[189]. وتزود الصواعد (رواسب كلسية صاعدة) من كهف في غرب فرجينيا سجلاً مفصلاً عن المناخ في شمال أميركا خلال 7000 عام الماضية، فإن ترسبات الكهف لا تتغير، وهي تعطي سجلاً مناخياً أفضل لأن الحيوانات اللاجئة قد تتغيّر في ترسبات البحيرات والمحيطات التي تستعمل في اقتفاء آثار المناخات القديمة. وتظهر

(184) K. J. Hsu, *Climate and People: A Theory of History* (Zurich: Orell Fussli, 2000).

P. deMenocal [et al.], «Coherent High-and Low-Latitude Climate Variability during the Holocene Warm Period,» *Science*, vol. 288 (2000), pp. 2198-2202.

(185) H. Weiss [et al.], «The Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization,» *Science*, vol. 261 (1993), pp. 995-1004.

(186) B. Smit and J. Wandel, «Adaptation, Adaptive Capacity and Vulnerability,» *Global Environmental Change*, vol. 16 (2006), pp. 282-292.

(187) H. M. Cullen [et al.], «Climate Change and the Collapse of the Akkadian Empire: Evidence from the Deep Sea,» *Geology*, vol. 28 (H. M.), pp. 379-382.

(188) W. Shaowu [et al.], «Abrupt Climate Change around 4Ka BP: Role of the Thermohaline Circulation as Indicated by a GCM Experiment,» *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 21 (2004), pp. 291-295.

(189) L. G. Thompson [et al.], «Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene Climate Change in Tropical Africa,» *Science*, vol. 298 (2002), pp. 589-593.

ترسبات الكهف في غرب فرجينيا أنه كلما وصلت أشعة شمسية أقل إلى الأرض، كل 1500 سنة، برد المحيط الأطلسي، وازدادت الجبال الجليدية وتناقص سقوط الأمطار. وأدى هذا إلى جفاف طويل، وبخاصة في الـ 4300 و2200 عام مضت[190]. ويبدو واضحاً أن الجفاف الكبير في بلاد ما بين النهرين كان الأكثر انتشاراً من منطقة الشرق الأوسط كلها. ومعروف أن تغير المناخ عامل قوي مسبب لتطور الحضارة، كما أن للابتراد العالمي علاقة بانهيار الحضارة، بينما يساهم الاحترار الكوني بتقدم عظيم في الحضارة[191].

لقد دمّر مصير مشابه الحضارة المايانية الواقعة في وسط مركز أميركا بعد عدة ألفيات، التي اعتمدت أيضاً على سقوط الأمطار الموسمية للري. لقد انهارت هذه الحضارة خلال جفاف شديد جداً نحو عام 899 ـ 900. ولم يكن سكان المايا، ومثلهم مثل الأكديين، بقادرين على تعزيز حضارتهم المزدهرة في أزمة جفاف طويل. ويظهر لنا التاريخ أن الاحترار الكوني لا يعطينا شيئاً نخافه. وإذا كنا نحتاج إلى أن نخاف شيئاً، فمن الأفضل أن نخاف جفافاً عالمياً كبيراً مرتبطاً بابتراد واسع يحركه النشاط الشمسي، فقد حدث هذا في الماضي وسوف يحدث مرةً أخرى.

كان في وادي الهندوس (Indus) في ما يسمى الآن الباكستان وشمال غرب الهند قبل 4500 إلى 3500 عام، مدن مثل هارابا وموهنيو ـ دار، زرعت فيها الحبوب والقطن والبطيخ والتمور. اختفت هارابا عن الخريطة، وطالما لم يكن هنالك ذكر لحرب قامت حينها، فإن الاستنتاج الأكثر منطقيةً هو أن تغيراً مناخياً أدى إلى خرابها وهجر سكانها. وعلى الرغم من أن المنطقة التي سكنها الهارابيون أصبحت جافة الآن، إلا أن الأحفوري الطلعيات (Pollens)، وترسبات البحيرات تدل على قصة مختلفة[192]. فقد، كانت المنطقة مورقة بالبردي، والعشب، والميموزا، وأشجار الجامون (Jamun trees). ويحتاج

(190) A. N. Williams [et al.], «Interpreting Trace-Metal and Stable Isotopic Results from a Holocene Stalagmite from Buckeye Creek Cave, West Virginia,» GSA Salt Lake City AGM, October 16-19, 2005; Paper 131-133.

(191) P. deMenocal, «Cultural Responses to Climate Change during the Late Holocene,» *Science*, vol. 292 (2001), pp. 667-673.

(192) M. Mandella and D. Q. Fuller, «Palaeoecology and the Harappan Civilization of South Asia: A Reconsideration,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 25 (2006), pp. 1283-1301.

الجامون كما هو معروف على الأقل إلى هطول أمطار لا تقل عن خمسين سنتمتراً في العام، أي ضعف معدل هطول الأمطار الحالي في هذه المنطقة[193]. وتظهر ترسبات البحيرات أن المنطقة كانت ممطرة جداً بين عامي 3000 و1800 قبل الميلاد، ثم أصبحت جافة حتى عام 500 قبل الميلاد.

تعطي طبقات المترسبات وتأريخ الكربون 14 (C^{14}) للترسبات البحرية في الأرض الساحلية بالقرب من كراتشي (باكستان) أدلة على هطول الأمطار في المنطقة الخلفية (Hinterland). وقد تناقص هطول الأمطار بين عامي 2000 و1500 قبل الميلاد بالتزامن مع الجفاف المتزايد في الشرق الأدنى والشرق الأوسط، كما هو موثق من ماء المطر الجاري في نهر النيل، وانسياب البحيرات ابتداءً من تركيا ووصولاً إلى شمال غرب الهند. وتظهر سجلات ترسبات البحيرات هذه فترات جفاف دورية ابتدأت من عام 200 إلى عام 100 قبل الميلاد، ومن حوالى عام 1000 إلى عام 1600 ميلادي (أواخر العصور الوسطى)[194].

ولم يكن تغير المناخ السريع مسجلاً في النصف الشمالي للكرة الأرضية فحسب، وإنما كان هطول الأمطار المتزايد في أزمنة معينة وتناقصه في أزمنة جفاف ميزة من ميزات كثيرة تتمتع بها بحيرات أميركا الجنوبية[195][196][197]، كما سجلت تغيرات مناخ مشابهة في جنوب أفريقيا[198]، تظهر أن تغيرات المناخ هذه قد تكون عالمية.

سجلت فترة تصحر شديدة نحو عام 2000 قبل الميلاد في الصين. وكانت

---

(193) J. Shaw [et al.], «Dates and Pollen Sequences from the Sanchi Dams,» *Asian Perspectives*, vol. 46 (2007), pp. 166-201.

(194) U. Rad [et al.], «A 5,000- Years Record of Climate Change from the Oxygen Minimum zone off Pakistan, Northeastern Arabian Sea,» *Quaternary Research*, vol. 51 (1999), pp. 39-53.

(195) A. J. Chepstow-Lusty [et al.], «Tracing 4,000 Years of Environmental History in the Cuzco area, Peru, from the Pollen Record,» *Mountain Research and Development*, vol. 18 (1998), pp. 159-172.

(196) B. L. Valero-Garces [et al.], «Paleohydrology of Andean Saline Lakes from the Sedimentological and Isotopic Records, Northwestern Argentina,» *Journal of Paleolimnology*, vol. 24 (2000), pp. 343-359.

(197) M. Iriondo, «Climatic Changes in the South American Plains: Records of a Continent-Scale Oscillation,» *Quaternary International*, vol. 57 (1999), pp. 93-112.

(198) K. Holmgren [et al.], «A Preliminary 3,000-Year Regional Temperature Reconstruction for South Africa, pp.Research Letter,» *South African Journal of Science*, vol. 97 (2001), pp. 49-51.

هذه عالميةً بالتأكيد لأنها سجلت أيضاً في شمال ووسط أوروبا، وشمال الشرق الأوسط، وشمال شرق آسيا، وشرق أفريقيا، والشرق الأوسط، وشبه الجزيرة الهندية، وأميركا ووادي النهر الأصفر[199].

بعد هذا الجفاف الكثيف الذي استمر 300 عام وسبّب دماراً كبيراً في العالم القديم سادت فترة دافئة للعصر البرونزي بين عامي 1470 و1300 قبل الميلاد[200]. وبسبب الجفاف هاجر الناس شمالاً إلى البلاد الاسكندنافية واستصلحوا أراضٍ زراعية مع مواسم نامية ربما كانت وقتئذ الأطول في ألفيتين. وازدهرت الأمبراطورية الآشورية، والمملكة الحِتية، وسلالة شانغ الحاكمة في الصين، والأمبراطورية المصرية الوسطى[201]. وأدى هذا الاحترار، في الأزمنة المينوانية إلى ازدهار للحضارة ونمو للامبراطوريات. وقد بُدِلَت الامبراطورية المينوية، التي ضعفت بشدة بثوران بركان سانتوريني، بالامبراطورية الميسينية (Mycenaean empire). وكانت تلك فترة الاحترار الأكثر تفضيلاً في ذروة «الهولوسين».

ثم جاءت نهاية العصر البرونزي مع قرون الظلام. وسادت فترة أخرى من الابتراد الكوني بين عامي 1300 و500 قبل الميلاد[202]. وتقدم الجليد في «ألاسكا»، و«أوتا»، و«اسكندنافيا» و«باتاغونيا» مرةً أخرى، وظهرت أساطيل من جبال الجليد في المحيطات مرةً أخرى. وقد يكون هذا الابتراد الكوني عاملاً في تزامن الهجرة الكثيفة والغزوات والحروب. ضعفت الامبراطورية الحتية في الأناضول، عام 1200 قبل الميلاد واختفت بعدها، كما سقطت الحضارة الميسينية على حساب صعود الحضارات الآشورية والفينيقية واليونانية. وتظهر سجلات من طروادة أن الجو كان بارداً وكانت هناك مجاعة بين عامي 1269 و1241 قبل الميلاد. ولم يكن هناك تعافٍ حتى حلول عام 800 قبل الميلاد.

---

(199) R. Drysdale [et al.], «Late Holocene Drought Responsible for the Collapse of Old World Civilizations is Recorded in an Italian Cave Flowstone,» *Geology*, vol. 34 (2006), pp. 101-104.

(200) L. Hempel, «The «Mediterraneanization» of the Climate in the Mediterranean Countries- a Cause of Unstable Ecobudget,» *GeoJournal*, vol. 14 (1987), pp. 163-173.

(201) C. A. Perry and K. J. Hsu, «Geophysical, Archaeological, and Historical Evidence Support a Solar-Output Model for Climate Change,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, doi (2000), 10.1073/pnas. 230423297.

(202) التبريد الأطلسي الجزئي.

ذهبت مصر في ذلك الوقت إلى انحطاط طويل بينما كانت بابل وآشور ضعيفتين في معظم الفترة الممتدة بين عامي 1100 و1000 عام قبل الميلاد[203]. كما هاجر اليهود، في ذلك الوقت، من مصر عندما كان النيل صيهوداً يجري ببطء شديد.

حَلّ بعدئذ فيضان هائل في النيل عام 800 قبل الميلاد. وسُجل في مصر ابتراد من عام 750 إلى عام 450 قبل الميلاد؛ كان النهر فيها ينبع من منطقة أخذت تجف وتبرد بتسارع شديد. وتظهر ترسبات مأخوذة من مصدر النهر الرئيسي، ومن بحيرة فكتوريا في شرق أفريقيا أن مستوى البحيرة كان ينخفض باستمرار. واستجابةً لذلك، بنيت السدود والقنوات لاستعادة أكثر ما يمكن استعادته من المياه الفائضة من أجل إنقاذ الزراعة المصرية.

وكان مستوى سطح البحر متدنياً، واستجابة لذلك، بنيت قناة المياه الحلوة في مصر تلبّي الحاجة إلى الريّ ولكنها ملئت بالطمي[204]. وكانت هناك في شمال أفريقيا فترة باردة جافة، بين عامي 600 و200 قبل الميلاد. تراجعت فيها مروج الصحراء الأفريقية الكبرى والصحارى العربية، وهاجر الناس.

كان المناخ بائساً بالانتقال من العصر البرونزي إلى العصر الحديدي (نحو 800 عام قبل الميلاد). وقد كتب المؤلفون الرومان الأوائل عن نهر التيبر المتجمد وعن الثلج المتراكم على سطح الأرض مدة طويلة. ولا تحدث أحداث كهذه في إيطاليا اليوم. أظهرت مواقع آركيولوجية في غرب فريسلاند (هولندا) فترات طويلة من الطقس الممطر البارد، وغالباً يحث سطح الأرض المشبع بالماء على الهجرة من مناطق منخفضة إلى بلاد أعلى وأجف[205]. انجرفت كتل كبيرة من جبال الجليد إلى مناطق على خطوط عرض أدنى، ثم ذابت وأسقطت جلمودات خشنة متبلورة، ورمال إلى وحول قاع البحار. لم يكن هذا الابتراد مقتصراً على أوروبا والشرق الأوسط، فربما كان عالمياً.

---

(203) B. Bell, «The Dark Ages in Ancient History,» *American Journal of Archaeology*, vol. 75 (1971), pp. 1-26.

(204) J. E. Oliver, *Climate and Man's Environment* (New York: Wiley, 1973).

(205) B. Van Geel, and H. Renssen, «Abrupt Climate Change around 2,650 BP in North-West Europe: Evidence for Climatic Teleconnections and a Tentative Explanation,» in: Arie S. Issar and Neville Brown, eds., *Water, Environment and Society in Times of Climatic Change: Contributions from an International Workshop within the Framework of International Hydrological Program (IHP) UNESCO, Held at Ben-Gurion University, Sede Boker, Israel from 7-12 July 1996* (Dordrecht; Boston, MA: Kluwer Academic, 1998).

تسجل صواعد كلسية (Stalagmite) من كهف في وادي ماكابانسغات (Makapansgat Valley) في جنوب أفريقيا فترات باردة بين عامي 800 ـ 200 قبل الميلاد[206].

تظهر دراسات أجريت على غبار الطلع أنه لم يكن هناك هجرة واسعة الانتشار في غرب بريطانيا خلال فترة الانتقال من العصر البرونزي إلى العصر الحديدي، وهي فترة ابتراد أساساً، غير أن المناطق الزراعية المرتفعة التي لم تكن مزروعة هجرت تفضيلاً للزراعة الأكثر كثافةً في المناطق المنخفضة.ولم تؤثر براكين كارثية قريبة في استعمال الأرض[207]. تبعت الزراعة والرعي في المناطق المرتفعة والمنخفضة تغيرات نباتية سببها تغيرالمناخ[208]، وتأقلمت النشاطات الزراعية بالانتقال إلى أراض منخفضة[209]، كما وتركت بعض المناطق في المملكة المتحدة[210] وأوروباً[211].

يُسجِّل لب الجليد تغيرات طفيفة في المناخ «الهولوسيني» الحديث فقط. غير أن نماذج أخرى لإعادة قراءة المناخ تأريخياً تعطينا قصةً مختلفة. وتُظهِر مستنقعات الخث في شمال غرب أوروبا وجنوب أميركا دلائل بوجود ابتراد عالمي سريع نحو عام 800 قبل الميلاد[212]. ويقترح التوقيت والتزامن الطبيعي والعالمي أن هذا الابتراد قد دفع بالنشاط الشمسي، وربما توسع بالتغيرات الدورية المناخية.

---

(206) K. Holmgren [et al.], «A Preliminary 3,000-Year Regional Temperature Reconstruction for South Africa: Research Letter,» *South African Journal of Science*, vol. 97 (2001), pp. 49-51.

(207) P. Dark, «Climate Deterioration and Land-Use Change in the First Millennium BC: Perspectives from the British Palynological Record,» *Journal of Archaeological Science*, vol. 33 (2006), pp. 1381-1395.

(208) R. M. Fyfe [et al.], «Historical Context and Chronology of Bronze Age Land Enclosure on Dartmoor, UK,» *Journal of Archaeological Sciences*, vol. 35 (2008), pp. 2250-2261.

(209) R. Tipping [et al.], «Response to Late Bronze Age Climate Change of Farming Communities in North East Scotland,» *Journal of Archaeological Sciences*, vol. 35 (2008), pp. 2379-2386.

(210) M. J. Amesbury [et al.], «Bronze Age Upland Settlement Decline in Southwest England: Testing the Climate Change Hypothesis,» *Journal of Archaeological Science*, vol. 35 (2008), pp. 87-98.

(211) P. Dark, «Climate Deterioration and Land-Use Change in the First Millennium BC: Perspectives from the British Palynological Record,» *Journal of Archaeological Sciences*, vol. 33 (2006), pp. 1381-1395.

(212) F. M. Chambers [et al.], «Globally Synchronous Climate Change 2800 Years Ago: Proxy Data from Peat in South America,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 253 (2007), pp. 439-444.

الاحترار الروماني (250 قبل الميلاد ـ 450 م)

بدأ الاحترار نحو عام 250 قبل الميلاد، وتمتع به اليونانيون والرومان. وكان سهلاً أكثر على الرومان. ومع أن الامبراطورية بدأت في فترة ابتراد، إلا أن العنب كان ينمو في روما منذ عام 151 قبل الميلاد. ومع حلول القرن الأول قبل الميلاد، سَجل النُسّاخ والمدوّنون الرومان وجود قليل من الثلج والجليد، وأن كروم العنب وأيكات الزيتون امتدت شمالاً إلى إيطاليا[213]. ونمت أشجار الزيتون في وادي نهر الراين في ألمانيا في ذروة الاحترار الروماني. ومعروف أن موقع الكروم هو تفويض لمناخ جيد. كذلك نمت أشجار الليمون والعنب في إنجلترا شمالاً حتى جدار هادريان (Hadrian's Wall)، وتمتعت معظم أوروبا بمناخ متوسطي. وهذا يدل على احترار سريع جداً، وكان الجو غزير المطر. كما كانت درجات الحرارة أثناء الاحترار الروماني أدفأ من الآن بدرجتين إلى ست درجات مئوية. وكان مستوى سطح البحر أدنى بقليل من مستواه اليوم، على الرغم من أن الأزمنة الغابرة كانت أدفأ[214]، ما يدل على أن تحركات صفائح الأرض الناتجة من تصادم أفريقيا بأوروبا أثرت في مستوى سطح البحر المحلي. كما وتثبت من الرومان أن الجو كان أدفأ من الجو اليوم.

سببّت أمطار استوائية في أفريقيا فيضانات كبيرة في النيل وغُمِر على أثرها كثير من المباني الضخمة. كانت هذه التغيرات نتيجة انهمار الأمطار، وفيضان الأنهار، ومستويات البحر المرتفعة[215][216]. ثم أصبح المناخ العالمي في عام 300 أدفأ بكثير مما هو اليوم[217]. وتظهر سجلات الطقس لجنوب إيطاليا التي احتفظ بها بطليموس في القرن الثاني أن المطر كان يهطل طوال السنة، بينما تتمتع المنطقة الآن بالمطر في الشتاء فقط. وأصبحت منطقة شمال أفريقيا،

(213) H. W. Allen, *The History of Wine* (London: Faber & Faber, 1961).

(214) K. Lambeck [et al.], «Sea Level in Roman Time in the Central Mediterranean and Implications for Recent Change,» *Earth and Planetary Sciences, Journal of Biogeography*, vol. 244 (2004), pp. 563-575.

(215) K. R. Laird [et al.], «Lake Sediments Record Large-Scale Shifts in Moisture Regimes across the Northern Prairies of North America during the Past Two Millennia,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 100 (2003), pp. 2483-2488.

(216) S. M. Lebreiro [et al.], «Climate Change and Coastal Hyrographic Millennia,» *The Holocene*, vol. 16 (2006), pp. 1003-1015.

(217) H. H.Lamb, *Climate, History and the Future* (London: Methuen, 1997).

بسبب المطر المنتظم والمتزايد منطقة منتجة للحبوب، للقرطاجيين (Carthaginians) والرومان من بعدهم. وهي الآن صحراء بمعظمها. ولم يتمتع الرومان وحدهم بمناخ أدفأ وأكثر أمطاراً، فقد كان وسط أميركا أكثر مطراً من الآن، في حين تمتع وسط آسيا الممطرة والأدفأ بتزايد سكاني نحو سنة 300[218] قبل الميلاد.

تبيّن دراسات غبار الطلع ازدهار الحياة النباتية، والمثال الجيد على ذلك هي البيانات طويلة الأمد الواردة من إسبانيا؛ فقد كان المناخ دافئاً وممطراً في إسبانيا قبل 500 سنة، ولذلك هيّأت الأرض حينها لزراعة المحاصيل[219]. وكان هناك في شمال إسبانيا (غاليسيا) تقلص شديد للغابات دفعه المناخ منذ عام 975 قبل الميلاد. ويعكس تناقص أعداد غبار الطلع من عام 1400 إلى عام 1860 هيمنة العصر الجليدي الصغير مع انسياب أدنى للطلع عام 1700 قبل الميلاد، في زمن الماوندر الأصغر (Maunder minimum) (1645 ـ 1750). ويعكس انسياب الطلع الأقصى بين حوالى عامي 250 قبل الميلاد و450 ميلادية الاحترار الروماني، فيما يعكس انسياب غبار الطلع من عام 950 إلى عام 1400 احترار القرون الوسطى[220]. إن فحوص غبار اللقاح دقيقة جداً لدرجة أنها تسجل وجود أشجار «الأوكالبتوس» الأسترالية التي بدأ ظهورها في القرن العشرين.

بيّنت الحفريات في عمق بحيرة تحتل فوهة بركان خامد في جبل كينيا أن الفترة بين عامي 2250 قبل الميلاد و750 ميلادية كانت ذات حرارة عالية متميزة لا سيما من عام 450 قبل الميلاد إلى عام 450 ب. م، وكان ذلك هو الاحترار الروماني الذي يعكس مناخاً أدفأ في أفريقيا الاستوائية[221]. ربط الباحثون ذلك مع بيانات أخذت من منطقة لابلاند (Lapland) السويدية، ومن جبال شمال

---

(218) R. Claiborne, *Climate, Man and History* (New York: Norton, 1970).

(219) E. Badal, J. Bernabeu and J. L. Vernet, «Vegetation Changes and Human Action from the Neolithic to the Bronze Age (7000-4000 B.P.) in Alicante, Spain, Based on Charcoal Analyses,» *Vegetation History and Archaeology*, vol. 3 (1994), pp. 155-166.

(220) S. Desprat, M. F. Sanchez Goni and M. -F. Loutre, «Revealing Climatic Variability of the Last Three Millennia in Northwestern Iberia Using Pollen Influx Data,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 2134 (2003), pp. 63-78.

(221) M. Rietti-Shati, A. Shemesh and W. Karlen, «A 3000 Year Climate Record from Biogenic Silica Oxygen Isotopes in Equatorial High-Altitude Lake,» *Science*, vol. 281 (1998), pp. 980-982.

شرق سانت إلياس في ألاسكا، ويوكن (Yukon) الكندية فاستدلوا على أن الاحترار الروماني كان عالمياً. وكان الجو أدفأ أيضاً في القطب الجنوبي في الأزمنة الرومانية. ويخبرنا الشَعر والجلد المأخوذ من أعضاء فقمات عملاقة وجدت محفوظة في شواطئ رملية مرتفعة منذ العصر الهولسيني (الحديث) في القطب الجنوبي قصة فريدة، لأن هذه الفقمات ترجع في تأريخها الطبيعي إلى زمن الاحترار الروماني واحترار العصور الوسطى. من ناحية أخرى كانت الأجواء في العصور المظلمة المعترضة باردة، ولكنها لم تكن باردةً إلى درجة تدفع بالفقمات إلى الهجرة من القطب الجنوبي[222].

لقد عنى الطقس الجيد خلال فترة الاحترار الروماني أن إخفاقات الزراعة والمجاعات الناتجة منها كانت نادرة. وكان هناك فائض في الغذاء، فازداد عدد السكان واتخذت مشاريع البناء الرومانية الكبيرة تستعمل العمالة والغنى الزائد. وكان عدد السكان في إنجلترا 5.5 مليون نسمة في الأقل، وكان إطعامهم ممكناً. ولم يتزايد عدد السكان في إنجلترا على 5.5 مليون نسمة حتى فترة احترار العصور الوسطى (عام 900 إلى عام 1280)، وآخر القرن السادس عشر. وتناقص عدد السكان بسرعة في العصور المظلمة في مناطق كانت مزدهرة في فترة الاحترار الروماني.

العصور المظلمة (535 ـ 900 ق.م)

كانت العصور المظلمة زمناً يشق العيش فيه، وقد حدث الابتراد المفاجئ عام 535 وعام 536 فيما غرقت الأرض في عصور مظلمة استمرت حتى عام 900[223]. كان الجو بارداً، وكانت المجاعة مفترسة، بالإضافة إلى الحروب وتداعي الإمبراطوريات، وتعرض البشر لوباء الطاعون.

حوالى عام 540[224] توقفت الأشجار عن النمو تقريباً. وكان مجال نمو

(222) B. L. Hall [et al.], «Holocene Elephant Seal Distribution Implies Warmer-than-Present Climate in the Ross Sea,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103 (2006), pp. 10213-10217.

(223) David Keys, *Catastrophe: An Investigation into the Origins of the Modern World* (London: Century, 1999).

(224) M. G. L. Baillie, «Dendrochronology Raises Questions about the AD 536 Dust-Veil Event,» *The Holocene*, vol. 4 (1994), pp. 212-217.

شجر السنديان في المستنقعات الفائضة والأشجار في ذلك الوقت ضعيفاً. وكان ذلك حدث عالمي مسجل أيضاً في حلقات الأشجار السنوية من إيرلندا وإنجلترا وسيبيريا وشمال أميركا وجنوبها. كان الثلج يتساقط في أوروبا الوسطى والصين الساحلية. وكانت عواصف عاتية تعوي في اسكندنافيا وجنوب أميركا. والسماء كانت مظلمة، يغزوها حشد من الشهب والمذنبات، وكانت الفيضانات متكررة، وبعد مجاعات أواخر ثلاثينيات القرن السادس، هاجم الطاعون أوروبا بين عامي 542 و545. وقد وصف بروكوبيوس (Procopius) طقس القسطنطينية كما يأتي:

«أعطت الشمس ضوءها من دون سطوع، تماماً مثل القمر خلال العام، وبدت الأرض شاحبة مثل الشمس في كسوفها، حيث لم تكن الأشعة التي تطلقها ساخنة، ليس كما كانت عادة».

وهناك وصف مشابه لجون إفسوس (John Ephesus) عن مدينة تقع أكثر إلى الجنوب[225]:

«أصبحت الشمس معتمة واستمر ظلامها تسعة عشر شهراً. ولم تكن تشرق أكثر من أربع ساعات في اليوم، وبقي نورها ظلاً ضعيفاً فحسب... وذبلت الفاكهة وكان مذاق المشروب كمذاق العنب الحامض.

كتب جون الليدياني (John the Lydian)[226] في دي أوستنتس (De Ostentis): «أصبحت الشمس معتمة طوال العام تقريباً... وكانت الفاكهة تموت في مواسم هي غير مواسمها».

تجمّد البحر الأسود عام 800، و801، و829 ميلادية. وتشكّل الجليد على نهر النيل. ولم يحدث تجمد كهذا منذ ذلك الوقت. كان الجو حينذاك شديد البرودة.

أدى الجفاف الطويل، المرّ، في أوروبا بين عامي 300 و800 إلى نزوح السكان (المهاجرون الهائمون أو Volkerwanderungen)، وإلى توترات اجتماعية ومجاعات. كما سبب انكفاء نور الشمس والجفاف انعدام المحصول، تبعته

(225) Keys, Ibid.

(226) D. Maas, *John Lydus and the Roman Past: Antiquarianism and Politics in the Age of Justinian* (London: Routledge, 1992).

المجاعات[227]. ووقع سكان ضعفاء وجماعات جديدة من نازحين لا حول لهم ـ ضحية طاعون دملي [نوع من الطاعون يسبب ورماً في الغدة اللمفاوية][228].

نشرت الجرذان وبراغيثها الطاعون، على الرغم من الاعتقاد الذي ساد في ذلك الوقت بأن البحارة هم الذين نشروا المرض. وكان البحارة مقيدين بسفنهم، في حين كانت الجرذان والبراغيث تتقافز على السفن، وتوقفت التجارة وانهار الاقتصاد، بينما استمر الطاعون بالانتشار. وكانت حصيلة وباء طاعون جوستينيان، نحو 200,000 نسمة من سكان الامبراطورية البيزنطية، ثم قتل نحو ثلث سكان أوروبا الشرقية ونصف سكان أوروبا الغربية. وعندما استفحل الطاعون وأخذ مساره، حوالى عام 590 ميلادية كان قد أودى بحياة نحو 25 مليون شخص. ولم يرجع وباء الطاعون مرةً أخرى حتى القرن الرابع عشر الذي كان، من دون تزامن، عصراً جديداً من الابتراد الكوني، والمجاعة والتمزق الاجتماعي.

قد يظهر الخث (فحم نباتي) في طبقات مستنقعات مغطاة رطباً ووسخاً، غير أنه يخفي كنزاً من المعلومات عن النباتات والمناخ الغابر. وتبين خمسة مواقع في المملكة المتحدة ومعلومات إضافية من اسكندنافيا أزمنةً أبرد وأكثر بللاً خلال العصور المظلمة[229]. وتدل دراسات في اسكندنافيا لحلقات الأشجار السنوية وبقايا طحالب صغيرة على فترة باردة جداً حوالى عام 500، وكان ذلك متزامناً مع تراجع مناطق الزراعة إلى مناطق أخفض في خطوط العرض[230]. كما بيّنت البيانات ذاتها أزمنةً أدفأ (احترار العصور الوسطى) من عام 700 إلى عام 1200.

توسعت صفائح الجليد (الثلاجات) في المحيط الهادي إلى شمال أميركا، وتناقصت خطوط الأشجار في ارتفاعها على خطوط العرض[231]. وأظهرت

---

(227) C. Mango, *Byzantium, the Empire of New Rome* (New York: Scribner, 1980).

(228) عدوى من بكتيريا يرسينيا بستس (Yersinia pestis).

(229) J. J. Blackford and F. M. Chambers, «Proxy Records of Climate from Blanket Mires: Evidence for a Dark Age (1400 BP) Climatic Deterioration in the British Isles,» *The Holocene*, vol. 1 (1991), pp. 53-67.

(230) B. E. Berglund, «Human Impact and Climate Changes,» *Quaternary International*, vol. 105 (2003), pp. 7-12.

(231) A. V. Reyes [et al.], «Expansion of Alpine Glaciers in Pacific North America in the First Millennium A. D,» *Geology*, vol. 34 (2006), pp. 57-60.

دراسات أجريت على نباتات بحيرة (Fauma) في المكسيك أنه كانت هناك فترة جافة بعد فترة طويلة من الأجواء الدافئة الممطرة، تخللتها أحداث قاحلة استثنائيةً في عام 862 و986 و1051. وكانت تلك فترة من الجفاف الشديد المتكرر في أميركا الوسطى تزامنت مع انهيار حضارة المايا. وعلى الرغم من أن التاريخ الدقيق لانهيار هذه الحضارة ليس معروفاً، غير أنه كان في الفترة الواقعة بين عامين 750 ـ 900 م[232].. وعادت آنذاك الظروف الدافئة والممطرة نحو عام عام 1064 م. ولكن الوقت كان قد فات لشعب المايا[233]. ثم بدأت فترة جافة أخرى عام 1391، عكست فيها الأزمنة الباردة الجافة للعصر الجليدي الصغير[234]. لقد كان الجفاف دورياً، يحصل بالتوافق مع الدورات الشمسية[235][236]. لقد نمت حضارة المايا خلال أزمنة احترار كوني عالمي، وقضي عليها خلال فترة ابتراد عالمي. ثمة اقتراحات تقول إن انهيار حضارة المايا نتج من تغيرات في نظام الغذاء[237]، ولكن طالما افتقرت حضارة المايا إلى التجارة العالمية، فإن التغير في النظام الغذائي يعكس فى الأغلب تغيرات في المناخ.

كانت العصور المظلمة تسودها فترة ابتراد عالمية. فالترسبات الساحلية في فنزويلا بيّنت أن المنطقة كانت شحيحة الأمطار حينذاك، ما يقترح وجود جفاف طويل. وهذا هو الجفاف ذاته الذي سبّب انهيار المدن المايانية في أميركا الوسطى[238]. كما سجلته دراسات عن مستنقعات الخث في هضاب التيبت في

---

(232) D. A. Hodell [et al.], «Possible Role of Climate in the Collapse of Classic Maya Civilization,» *Nature*, vol. 375 (1995), pp. 391-394, and D. A. Hodell [et al.], «Possible Role of Climate in the Collapse of Classic Maya Civilization,» *Nature*, vol. 375 (1995), pp. 391-394.

(233) L. C. Peterson, and G. H. Haug, «Climate and the Collapse of Maya Civilization,» *American Scientist*, vol. 93 (2005), pp. 322-329.

(234) J. H. Curtis, D. A. Hodell and M. Brenner, «Climate variability on the Yucatan Peninsula (Mexico) during the Past 3500 Years, & the Implications for the Maya Cultural Evolution,» *Quaternary Research*, vol. 46 (1996), pp. 37-47.

(235) الدورة الشمسية دي فريس-سويس (De Vries-Suess solar cycle) التي مدتها 210 سنة.

(236) D. A. Hodell [et al.], «Solar Forcing of Drought Frequency in the Maya Lowlands,» *Science*, vol. 292 (2001), pp. 1367-1370.

(237) L. E. Wright and C. D. White, «Human Biology in the Classic Maya Collapse: Evidence from Paleopathology and Paleodiet,» *Journal of World Prehistory*, vol. 10 (1996), pp. 147-198.

(238) G. H. Haug [et al.], «Climate and Collapse of Maya Civilization,» *Science*, vol. 299 (2003), pp. 1731-1735.

العصور المظلمة. بالإضافة إلى ذلك، تم ملاحظة ثلاثة أحداث قارصة البرودة في العصور المظلمة.

احترار العصور الوسطى (900 ـ 1300م)

انتهت العصور المظلمة بسرعة كما بدأت، فأصبح العالم دافئاً من جديد. وتبع احترار العصور الوسطى من عام 900 إلى 1280 م عقدين من الطقس المتغير جداً، بينما تغير الاحترار إلى عصر جليدي صغير كنتيجة. لقد كان الجو أدفأ في احترار العصور الوسطى مما هو عليه الآن، كما كان الاحترار منتشراً[239]. ولم يكن احترار العصور الوسطى كله مجرد لعب ولهو، فقد كانت هناك فترة باردة بين عامي 1040 و1080 عندما لم تكن الشمس نشيطة (Oort Minimum).

إن احترار العصور الوسطى هو فقط أحد الفترات الدافئة الكثيرة التي تمتعت بها الأرض. واستمر المناخ الهولوسيني الأدفأ والأطول بين عامي 7000 و3000 ق م. (وكان احترار آخر القرن العشرين أبرد، نوعاً ما، من احترار العصور الوسطى والاحترار الروماني). وعلى الرغم من أن الجو كان دافئاً، كانت هناك فترات متقطعة من الطقس السيئ. غير أن الصيفيات المتوازنة كانت أطول وأدفأ، وكان المحصول غزيراً، مع جماعات هنا وهناك. وازدهر الملوك وملاّك الأراضي ونادراً ما جاع الفلاحون. وتزايدت مساحة الأراضي الزراعية وتسلقت الحقول إلى مرتفعات أعلى في خطوط العرض حيث لم تكن هناك زراعة. وزرعت المحاصيل التي تتمتع بالدفء شمالاً أكثر وأكثر في نصف الكرة الشمالي.

كانت أوروبا دافئةً، وكثر هطول الأمطار في مناطق عالية، والمناخ كان مستقراً، والإنتاج الزراعي جيداً جداً. فتوفر فائض من الغذاء واليد العاملة والغنى. كما عمّ الازدهار وزادت الموارد المالية. تطورت الزراعة في الجبال عن ذي قبل، وتقول دراسات الحلقات السنوية للأشجار في كاليفورنيا إن منطقة شمال أميركا كانت تتمتع أيضاً بأوقات دافئة[240]. ولقد أدى فائض الغذاء في أوروبا إلى زيادة 50 في المئة في عدد السكان. وعلى الرغم من أنه لم يكن ممكناً حفظ الحبوب بفاعلية بعيداً عن الجرذان والحشرات، فقد

(239) J. M. Grove, *The Little Ice Age* (London: Methuen, 1988)

(240) W. S. Broecker, «Was the Medieval Warm Period Global?,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 1497-1499.

أحدثت مواسم الحصاد المنتظمة التي يُعتَمد عليها استقراراً واطمئناناً.

نمت المدن في أوروبا، وتأسست شبكات النقل، ووظّفت العمالة الفائضة في بناء الأديرة والكاتدرائيات والجامعات[241]. وتطلبت المباني المعمارية الضخمة أجيالاً لتبنى، ما يُظهر أن الغنى قد امتد إلى الأجيال التالية. وأسست الجامعات حينذاك لتدريب الشباب على الكهنوت. وتعود أصول الجامعات الحديثة العلمانية إلى احترار العصور الوسطى. ويمكن لأي زائر إلى أوروبا أن يرى نتائج اتساع بناء الكاتدرائيات، وهي نتيجة الازدهار الذي جاءت به الأزمنة الدافئة. ثم بنيت مدن جديدة في أوروبا، وتزايد عدد سكانها من 30 مليون إلى 80 مليون. في الوقت ذاته، بنيت ألوف من الهياكل في أنغكور وات (Angkor Wat) في جنوب شرق آسيا. لقد أدت الظروف الأدفأ في الصين إلى مضاعفة عدد السكان في مئة عام. وكان احترار العصور الوسطى ذروة الدولة والثقافة والعلوم الإسلامية. وتوفر ما يكفي من الغذاء لإطعام مزيد من الناس فدفعت المغامرة بعضهم إلى الارتحال لمسافات بعيدة.

ازدهر الاقتصاد. وكان في الأزمنة الباردة من العصور المظلمة يدور حول ممتلكات مكتفية ذاتياً نمّت غذاءها وكتّانها وصوفها، ونسجت ثيابها الخاصة، وكانت تجارتها قليلة أو ربما معدومة مع ممالك أخرى أو عالمياً. لقد كان احترار العصور الوسطى زمناً مفرطاً حيث أمكن الحصول على بضائع مترفة كالتوابل من القوافل الشرقية، والسكر من قبرص، والزجاج من البندقية من خلال التجارة. وكانت التجارة الساحلية وما وراء البحار أسهل بسبب انخفاض فترات هبوب الرياح الشديدة والعواصف العاتية. وكانت زيادة أشعة الشمس تعني، وإن كان هناك مطر شديد، أن تجف الطرق بسرعة، ما سمح بمزيد من حركة السير التي يعول عليها بين المزارع والمدن. وكانت ممرات الجبال مفتوحةً فترة أطول، حيث سمحت بموسم تجارة أطول. وسمح المناخ الدافئ بنشوء معارض التجارة الأوروبية. وكان هناك ما يزيد على سبعين مضرباً لسك العملة عام 1000 في مدن السوق تسك عملة فضيةً ألمانيةً لشراء الصوف والسمك. وبالمقابل، اشترى الإنجليز التوابل، والفرو، والقماش والرقيق[242].

(241) J. Gimpel, *The Cathedral Builders* (New York: Grove Press, 1961).

(242) R. Lacey and D. Danziger, *The Year 1000: What Life Was Like at The Turn of the First Millennium* (Boston, MA: Little Brown, 1999).

كذلك، ازدهرت الزراعة في جبال الألب الأوروبية. ونُصبت قناة خشب اللاركس في جليد غروسر آلتش (Grosser aletsch) لتزويد المياه لقرية ألبيّة، حوالى عام 1200 م، لكنها دُمِّرت بتقدم الجليد عام 1240. وقد تطلب إعادة توجيه كامل طريقها عام 1370 خلال العصر الجليدي الصغير بعد حصول المزيد من التقدم الجليدي[243]. ودمرت أخيراً ونهائياً عند ذروة العصر الجليدي الصغير. إن تراجعات أنهر الجليد العديدة وتقدمها في جبال الألب هي انعكاس لتغاير درجة حرارة الهواء[244][245]. ويمكن إيجاد رابط لدورات مدتها 1500 عام بقياس تقدم المجلدات وتراجعها في نيوزيلندا[246]. وكانت بالنسبة إلى تراجع الجليد شمالاً في شمال الأطلسي (وبخاصة في الصيف) وخفت العواصف القاسية.

أبحر الفايكنغز، وكانوا بحارةً أقوياء، شمالاً وغرباً وأسسوا مستوطنات في غرينلاند وآيسلاندا وشمال أمريكا، مثل (L'Anse aux Meadows). وعنى شمال الأطلسي الفارغ من الجليد أن الفايكنغز استطاعوا السفر، وسموا الأرض التي اكتشفوها Vinlandأو أرض الخمر لما فيها من كروم، وهي تعرف اليوم بـ نيوفوندلاند (Newfoundland). ونمت قطعان البقر والغنم، كما نما الشعير في غرينلاند، وتمكنت جذور الأشجار من اختراق التربة فيها بعد أن كانت سهولاً جرداء، وكان هناك صيد للقد [سمك يؤكل من أسماك شمال الأطلسي] وعجول البحر في بحار خالية من الجليد، وأمكن دفن الموتى في تراب وليس ثلجاً، وأسست قرى، وأرسل البابا مطراناً إلى غرينلاند ليعنى بجمهور الاسكندنافيين. ومضى الفايكنغز بتجارتهم جنوباً فوصلوا إلى بلاد فارس والبلدان العربية[247].

---

(243) H. Holzhauser, «Fluctuations in the Grosser Aletsch Glacier and the Gorner Glacier during the Last 3,200 Years: New Results,» *Paläoklimaforschung*, vol. 24 (1997), pp. 35-58.

(244) A. Hormes, C. Schlüchterand T. F. Stocker, «Minimal Extension Phases of Unteraarglacier (Swiss Alps) during the Holocene Based on 14C Analysis of Wood,» *Radiocarbon*, vol. 40 (1998), pp. 809-817.

(245) A. Hormes, B. U. Müller and C. Schlüchter, «The Alps with Little Ice: Evidence for Eight Holocene Phases of Reduced Glacier Extent in the Central Swiss Alps,» *The Holocene*, vol. 11 (2001), pp. 255-265.

(246) A. Hormes [et al.], «Radiocarbon and Luminescence Dating of Overbank Deposots in Outwash Sediments of the Last Glacial Maximum in North Westland, New Zealand,» *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, vol. 46 (2003), pp. 95-106.

(247) R. D. Thachuk, «The Little Ice Age,» *Origins*, vol. 10 (1983), pp. 51-65.

يظهر سجل الدينونة Doomsday لإنجلترا مكان نمو العنب، في أماكن لا يمكن زراعة العنب فيها الآن. وكانت إنجلترا، وهي الآن، مكاناً رطباً بارداً، أدفأ وأجف أثناء احترار العصور الوسطى. كما ازدهرت إنجلترا وازداد عدد سكانها من 1.4 مليون إلى 5.5 مليون. وازداد عدد سكان فرنسا ثلاثة أضعاف إلى 18 مليوناً.

كانت كروم العنب في ألمانيا على ارتفاع 780 متراً فوق مستوى سطح البحر، بينما نجد الارتفاع الأقصى اليوم هو 560 متراً فوق مستوى سطح البحر. وتنقص درجة الحرارة عادةً بـ 0.6 إلى 0.7 درجة مئوية لكل 100 متر من الارتفاع المكتسب، فيكون متوسط درجة الحرارة 1.0 إلى 1.4 درجة مئوية أدفأ من الآن[248]. وانتشرت المستوطنات واستصلاح الأراضي والزراعة في قرىً ومنحدرات على 100 أو 200 متر أعلى في النرويج، ما يدل على أن درجات حرارة الصيف كانت أعلى مما هي عليه الآن بدرجة واحدة[249]. تحركت خطوط الأشجار إلى أعالي المنحدرات في فترة احترار العصور الوسطى ولا تزال قرمة الأشجار والجذور موجودة فوق خط الأشجار الحالي في كثير من المناطق الألبية. وقد وجدت جذلات وزنود خشب الأشجار (Larix sibirica) على ارتفاع ثلاثين متراً فوق خط الأشجار الحالي في أنهار الأورال (Urals) القطبية ويظهر أن خط الأشجار كان عام 1000 أعلى من الآن[250]، ثم تراجع حوالى عام 1350، وهو دليل على أثر العصر الجليدي الصغير.

تم استخراج النحاس والذهب والزمرد من ارتفاع عالٍ، من مناجم في جبال الألب الأوروبية خلال الاحترار الروماني واحترارً العصور الوسطى[251]. وكانت هذه المناجم مغطاة بالجليد وهجرت خلال العصور المظلمة ثم غطيت مرةً أخرى بالجليد مهجورة خلال العصر الجليدي الصغير. وتعرض

---

(248) C. Arendes, Joseph H. Reichholf, «Eine kurze Naturgeschichte des letzen Jahrtausends Frankfurt a.M,» *Zeitschrift für Geschichtswissenschaft*, vol. 56 (2007), pp. 1-462.

(249) B. Fagan, *The Little Ice Age: How Climatic Change Made History 1300-1850* (New York: Basic Books, 2000).

(250) J. Esper and F. H. Schweingruber, «Large Scale Tree Line Changes Recorded in Siberia,» *Geophysical Research Letters*, vol. 31 (2004), 10.1029/2003GLO019178.

(251) W. Pohl, «Metallogenetic Evolution of the East Alpine Proterozoic Basement,» *International Journal of Earth Sciences*, vol. 73 (1984), pp. 131-147.

بعضها إلى أثر تراجع التجلد في احترار أواخر القرن العشرين[252].

تُظهر ترسبات في بحيرة «نوف شاتيل» (Neufchatel) في سويسرا تناقصاً مفاجئاً في درجة الحرارة بـ 1.5 درجة في نهاية احترار العصور الوسطى. وبينت أن متوسط درجات الحرارة السنوية في احترار العصور الوسطى كان أعلى من الآن[253]. كما سمح احترار العصور الوسطى في بحر البلطيق للعوالق البحرية القطبية ودون القطبية بالاستمرار. وعلى الرغم من احترار أواخر القرن العشرين، إلا أنها لم تعد لأن بحر البلطيق لا يزال أبرد مما كان عليه في احترار العصور الوسطى. بدلت الكائنات الحية المجهرية حوالى عام 1200 م بكائنات مياه باردة. ويعكس التبديل الحيوي هذا بداية العصر الجليدي الصغير[254].

تعطي حفر السبر Boreholes (حفرة أو بئر تحدث بالثقب بحثاً عن بعض موارد الأرض وثرواتها الدفينة) تواريخ درجات حرارة دقيقة لحوالى 1000 سنة في الماضي، لأن الحجارة تنقل درجات حرارة سطح الأرض نزولاً إلى أسفل ببطء فقط، وأظهرت بيانات حُفَر السبر في نصف الكرة الأرضية الشمالي احترار العصور الوسطى وابترادا لحوالى درجتين مئويتين من احترار العصور الوسطى حتى العصر الجليدي الصغير[255]. كما أظهرت دراسة عن 6000 حفرة سبر في جميع القارات أن درجة الحرارة أثناء احترار العصور الوسطى كانت أعلى من درجة حرارة اليوم، وأن درجة الحرارة انخفضت نحو 0.2 إلى 0.7 درجة مئوية خلال العصر الجليدي الصغير[256].

يبيّن تقدم خطوط الأشجار، وتراجع التجلدات، والتآكل المنخفض

---

(252) W. W. Hyde, «The Alps in History,» *Proceedings of the American Philosophical Society*, vol. 75 (1935), pp. 431-442.

(253) F. L. Filippi [et al.], «Climatic and Anthropogenic Influence on Stable Isotope Record from Bulk Carbonates and Ostracodes in Lake Neufchatel, Switzerland, during the Last Two Millennia,» *Journal of Palaeolimnology*, vol. 21 (1999), pp. 19-34.

(254) E. Andren, T. Andren and G. Sohlenius, «The Holocene History of the Southwestern Baltic Sea as Reflected in a Sediment Core from the Bornholm Basin,» *Boreas*, vol. 29 (2000), pp. 233-250.

(255) E. J. Steig, «Synchronous Climate Changes in Antarctica and the North Atlantic,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 92-95.

(256) S. Huang, H. N. Pollack and P. Y. Shen, «Late Quaternary Temperature Change Seen in Worldwide Continental Heat Flow Measurements,» *Geophysical Research Letters*, vol. 24 (1997), pp. 1947-1950.

للبحيرات (على سبيل المثال، عواصف أقل) وتأثيرات درجة الحرارة، أن اسكندينافيا كانت دافئة بين عامي 700 و1200[257]. وتظهر بيانات أخرى أن اسكندينافيا مرت بفترة باردة بين عامي 500 و700 (على سبيل المثال، العصور المظلمة)، وكان عام 660 بارداً جداً. وهناك فترة من عام 720 إلى عام 1360 (احترار العصور الوسطى) ثم جاءت فترة دافئة في القرن العاشر والحادي عشر والثاني عشر، وكانت دافئة في بداية القرن الخامس عشر. والجو بعد عام 1430 كان بارداً (على سبيل المثال، العصر الجليدي الصغير).

كذلك، أثّر احترار العصور الوسطى في شرق المتوسط[258]، فقد كان مستوى الماء في بحيرة فان (Van) في شرق تركيا مرتفعاً[259]، كما كان الحال في بحيرات في الصحراء الكبرى[260]. وكان البحر الميت[261] وبحيرة طبريا (بحر الجليل)[262] ممتلئين، كما كان المطر فائضاً في مياه النيل[263]. وكان لنهر النيل منبعان، النيل الأزرق ويأتي من الحبشة، ويساهم بخزينة من الطمي. والنيل الأبيض الذي ينبع من بحيرة فكتوريا ويساهم بمعظم المياه. ولنهر النيل سجلٌ حافلٌ بالفيضان والمترسبات، وتتكامل فيه منطقتان منفصلتان تماماً. يُظهر سجل الحلقات السنوية لشجرة عمرها 1300 عام في باكستان أن العقود الأدفأ

---

(257) B. E. Berglund, «Human Impacts & Climate Changes,» *Quaternary International*, vol. 105 (2003), pp. 7-12.

(258) B. Schilman [et al.], «Global Climate Instability Reflected by Eastern Mediterranean Marine Records during the Late Holocene,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 176 (2001), pp. 157-176.

(259) M. Schoell, «Oxygen Isotope Analysis of Authigenic Carbonates from Lake Van Sediments and their Possible Bearing on the Climate of the Past 10,000 Years,» in: E.T. Degens (ed.), *Geology of Lake Van, Kurtman* (1978), pp. 92-97.

(260) S. E. Nicholson, «Saharan Climates in Historic Times,» in: *The Sahara and the Nile: Quaternary Environments and Prehistoric Occupation in Northern Africa*, edited by Martin A. J. Williams and Hugues Faure (Rotterdam: Balkema, 1980).

(261) S. Issar, «Climatic Changes in Israel during Historical Times and their Impact on Hydrological, Pedalogical, and Socioeconomic Systems,» in: *Palaeoclimatology and Palaeometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*, edited by M. Leinen and M. Sarnthein (1989), pp. 535-541.

(262) A. Frumkin [et al.], «The Holocene Climatic Record of the Salt Caves of Mount Sedom, Israel,» *The Holocene*, vol. 1 (1991), pp. 191-200.

(263) F. Hassan, «Historical Nile Floods and their Implications for Climatic Change,» *Science*, vol. 212 (1981), pp. 1142-1145.

كانت بين عامي 800 و1000 من فترة احترار العصور الوسطى، وكانت الأبرد بين عامي 1500 و1700 في العصر الجليدي الصغير[264].

انتشرت القرى في جنوب أفريقيا خلال فترات دافئة وممطرة من العصر الحديدي المبكر (650 ـ 300 قبل الميلاد)، وتوسعت فترة دافئة أخرى ممطرة من عام 900 ـ 1290، هي فترة احترار العصور الوسطى. وتزامن ظهور قرى عديدة ونشوء «زمبابوي الكبيرة» مع بداية العصر الجليدي الصغير الجاف، بينما أحدث نبض دافئ في القرن الخامس عشر والسادس عشر ظروف زراعة مختلطة في المروج العالية. وساهمت فترة دافئة وممطرة أخرى في نهاية القرن الثامن عشر في انتشار الذرة، وزيادة عدد السكان ومزيداً من النشاط العسكري[265].

ويبيّن تقرير هطول أمطار عمره 1100 عام يستعمل المترسبات، وأحافير دايوتومات، وعدد من أصناف الذباب الصغير في شرق أفريقيا ظروف جفاف وابتلال متناوبة على ساحل غرب أفريقيا، مع انخفاض في درجات حرارة سطح البحر. وكانت الأراضي الساحلية على الشاطئ أجف قروناً خلال فترات باردة، وكان هناك هطول هائل للأمطار أحدث بحيرات في الصحراء الأفريقية الكبرى في فترات دافئة. غير أن أعمالاً أخرى أظهرت أن شرق أفريقيا كان أجف في الأزمنة الدفيئة، كاحترار العصور الوسطى، قوطعت بالجفاف في العصر الجليدي الصغير بفترات متكررة كانت أكثر إمطاراً وبرودة[266].

وقد تناوبت على شرق أفريقيا الاستوائية خلال الألفية الماضية ظروف جافة وممطرة. وكان شرق أفريقيا أثناء احترار العصور الوسطى أجف من اليوم، بينما كان أثناء العصر الجليدي الصغير ممطراً أكثر من الآن. وكانت هناك في العصر الجليدي الصغير ثلاث فترات طويلة من الجفاف. وكان هطول الأمطار في بحيرة نايفاشا في كينيا أعلى من الآن. هذا وتدل كتابات الرحالة العرب في شمال أفريقيا على أن هطول الأمطار كان أغزر مما كان عليه في العصر الجليدي الصغير واليوم. ويبيّن تحليل صاعد (Stalagmite) كهف في وادي ماكابانسغات

(264) J. Esper, F. H. Schweingruber and M. Winiger, «1,300 Years of Climate History for West Central Asia Inferred from Tree Rings,» *The Holocene*, vol. 12 (2002), pp. 267-277.

(265) T. N. Huffman, «Archaeological Evidence for Climatic Change during the Last 2000 Years in Southern Africa,» *Quaternary International*, vol. 33 (1996), pp. 55-60.

(266) D. Verschuren, K. R. Laird and B. F. Cumming, «Rainfall and Drought in Equatorial East Africa during the Past 1100 Years,» *Nature*, vol. 403 (2000), pp. 410-444.

(Makapansgat valley)، في جنوب أفريقيا، فترةً دافئةً بين عامي 1000 و1300[267].

ازدهرت الصين في احترار العصور الوسطى، فقد تبيّن ذلك من سجلات القصور، والتواريخ الرسمية، والكتب السنوية، والجرائد واليوميات، ووصول الطيور المهاجرة ومغادرتها، وتوزيع النباتات، وترعرع بساتين الخيزران والفاكهة، ونماذج هجرة الفيلة، وأوقات النباتات المزهرة، والفيضانات الرئيسية والجفاف الرئيسي[268][269][270]. وكانت مواسم النمو أطول وأكثر موثوقية، كما انتقلت بساتين الليمون إلى الشمال، بينما انحصرت جنوباً عندما بدأ العصر الجليدي الصغير[271]. وتمتعت الصين بأقصى درجات المناخ «الهولوسيني» (8000 عام قبل الميلاد إلى عام 3000 قبل الميلاد)، وبالاحترار الروماني واحترار العصور الوسطى. وبناءً على دراسات الغبار، كانت الصين أدفأ من الآن على الأقل بدرجتين إلى ثلاث درجات مئوية[272].

أحدثت فترات احترار كهذه غنىً كثيراً في الصين. بدأ الغنى من عام 200 قبل الميلاد ووصل إلى ذروته عام 1100 مع الزيادات الكبيرة في فترة هان (Han) (206 قبل الميلاد إلى 220) وسلالة سنغ (Sung) الحاكمة (Dynasty) شمالاً (961 إلى 1127)[273]. وتزامنت هاتان الفترتان الدافئتان مع الاحترار الروماني واحترار العصور الوسطى في مكان آخر. وتمت إعادة بناء تاريخ درجة الحرارة في الصين للـ 2000 عام الأخيرة من لب الجليد، وترسبات البحيرات،

---

(267) D. Tyson [et al.], «The Little Ice Age and Medieval Warming in South Africa,» *South African Journal of Science*, vol. 96 (2000), pp. 121-126.

(268) C. Ko Chen, «A Preliminary Study on the Climatic Fluctuations during the Last 5000 Years in China,» *Scientia Sinica*, vol. 16 (1973), pp. 483-486.

(269) W. Saho Wu, and Z. Zong Ci, «Droughts and Floods in China,» in: T. M. L. Wigley [et al.], *Climate and History: Studies in Past climates and their Impact on Man* (Cambridge, MA: University Press, 1981).

(270) J. Zhang, and T. J. Crowley, «Historical Climate Records in China and Reconstruction of Past Climaters,» *Journal of Climate*, vol. 2 (1989), pp. 830-849.

(271) Z. Deer, «Evidence for the Existence of the Medieval Warm Period in China,» *Climatic Change*, vol. 26 (1994), pp. 289-297.

(272) Z. Feng, «Temporal and Spatial Variations in Climate in China during the Last 10,000 Yrs,» *The Holocene*, vol. 3 (1993), pp. 174-180.

(273) K. Caho, *Man and Land in China: An Economic Analysis* (Stanford, CA: Stanford University Press, 1986).

ومستنقعات الخث، وحلقات الأشجار السنوية والوثائق التاريخية[274]. ثم كان القرنان الثاني والثالث بعد الميلاد، وحتى نهاية الاحترار الروماني، أكثر الفترات دفئاً. واستمر الجو دافئاً من عام 800 إلى عام 1400 خلال احترار العصور الوسطى، وبارداً في العصر الجليدي الصغير من عام 1400 إلى عام 1920، ثم أصبح دافئاً مرةً أخرى بعد عام 1920 خلال احترار أواخر القرن العشرين. كما تظهر صواعد كهفية من الصين احتراراً شديداً من عام 700 إلى عام 1000، ما يتوافق مع احترار العصور الوسطى، وفترة ابتراد من عام 1500 إلى عام 1800 عندما كانت درجة حرارة الهواء 1.2 درجة مئوية أبرد من الآن[275].

تمتع اليابانيون بأزمنة جيدة مشابهة كما تظهر سجلات رسمية عن الطقس والفيضانات والجفاف والثلوج الشديدة والأمطار الطويلة والشتاء المعتدل[276]. وكان الجو دافئاً من القرن العاشر حتى القرن الرابع عشر كما في أوروبا. وأتاحت السجلات الرسمية تحليلاً مفصلاً بيّن أن الظروف الحارة نسبياً استمرت حتى القرن الثامن، ثم ظهرت ظروف باردة لفترة قصيرة في أواخر القرن التاسع. ووجدت ظروف دافئة من القرن العاشر حتى أوائل القرن الخامس عشر، وبدأ الابتراد في أواخر القرن الخامس عشر. وأصبح الجو بارداً جداً مع بداية القرن السابع عشر. ويسجل التركيب الكيميائي للأرز الياباني أن العصور المظلمة، واحترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير، أظهرت مرة أخرى أن تغيرات المناخ هذه كانت منتشرة[277].

ازدهرت شمال أميركا هي الأخرى في احترار العصور الوسطى. وخط

---

(274) B. Yang [et al.], «General Characteristics of Temperature Variation in China during the Last Two Millennia,» *Geophysical Research Letters*, vol. 29 (2002), pp.1029/2001GL014485.

(275) M. Zhibang [et al.], «Palaeotemperature Changes Over the Past 3,000 Years in Eastern Beijing, China: A Reconstruction Based on Mg/Sr Records in a Stalagmite,» *Chinese Science Bulletin*, vol. 48 (2003), pp. 395-400.

(276) Y. Tagami, «Climate Change Reconstructed from Historical Data in Japan,» *Proceedings of the International Symposium on Global Change, International Geosphere-Biosphere Program*, 1993, pp. 720-729.

(277) H. Kitagawa and K. Matsumoto, Climatic Implications of ^{13}C Variations in a Japanese Cedar (*Cryptomeria japonica*) during the Last Two Millennia,» *Geophysical Research Letters*,vol. 22 (1995), pp. 2155-2158.

هطول الأمطار المتزايد القنوات في السهول العظمى[278]، ودفأت ألاسكا بسرعة[279]. وأظهرت دراسات نباتية في شمال كبيك فترة ابتراد (760 إلى 860) تزامنت مع العصور المظلمة، واحتراراً من عام 860 إلى عام 1000 يعكس احترار العصور الوسطى والبرد القارس من عام 1025 إلى عام 1400، ما يعكس العصر الجليدي الصغير[280]. كما بيّنت دراسة مشابهة في شمال أونتاريو تغيرات في الغابات مع نهاية احترار العصور الوسطى. حيث بدلت أشجار خشب الزان التي تحب الدفء بالسنديان الذي يتحمل البرد ثم بالصنوبر الذي يحب البرد. ونتج من التغير من احترار القرون الوسطى إلى العصر الجليدي الصغير زحرجةً(*) وفقداناً لـ 30 في المئة من كمية الغابات. ولم تتعاف غابات أونتاريو من العصر الجليدي الصغير، كما لم تَعد إلى تنوعها وإنتاجها الذي ساد في احترار العصور الوسطى[281]. ويمكن الكشف عن احترار العصور الوسطى في الولايات المتحدة الأميركية بدراسات لسجلات الرطوبة لأخشاب الصنوبر في مأوى بحيرة تنايا في أعالي جبال سيّيرا نيفادا[282]. وقد تغيرت مستويات البحيرات مع تجمع المياه من الثلج الذائب. كما لوحظ نموذج مشابه في بحيرة مونو (Mono Lake) ونهر ووكر (Walker River) في كاليفورنيا[283].

انتشرت زراعة الهنود الأنسازيين (Ansazi Indians) وثقافتهم في الفترة المبكرة من احترار العصور الوسطى، حيث كانت الأمطار أكثر انتظاماً. أظهرت حلقات نمو الأشجار السنوية من ساند كانيون (Sand Canyonn) هطولاً ضئيلاً

---

(278) J. M. Daniels and J. C. Knox, «Alluvial Stratigraphic Evidence for Channel Incisions during the Medieval Warm Period on the Central Great Plains, USA,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 736-747.

(279) F. S. Hu [et al.], «Pronounced Climatic Variations in Alaska during the Last Two Millennia,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 98 (2001), pp. 10552-10556.

(280) D. Arseneault and S. Payettem, «Reconstruction of Millennial Forest Dynamic from Tree Remains in a Subarctic Tree Line Peatland,» *Ecology*, vol. 78 (1997), pp. 1873-1883.

(*) زحرجة: إزالة الأحراج من بقعة ما (المترجم).

(281) I. D. Campbell, and J. H. McAndrews, «Forest Disequilibrium Caused by Rapid Little Ice Age Cooling,» *Nature*, vol. 366 (1993), pp. 336-338.

(282) S. Stine, «Medieval Climate Anomaly in the Americas,» in: *Water, Environment, and Society in Times of Climatic Change*, edited by Arie S. Issar and Neville Brown (Dordrecht; Boston, MA: Kluwer Academic, 1998), pp. 43-67.

(283) S. Stine, «Extreme and Persistent Drought in California and Patagonia during Mediaeval Time,» *Nature*, vol. 369 (1994), pp. 546-549.

للمطر من عام 1125 إلى عام 1180، ومن عام 1270 إلى عام 1274، وجفافاً دام أربعاً وعشرين عاماً في أواخر القرن الثالث عشر. وأدى ذلك إلى قلة في وفرة الطعام، وإلى نزاع داخلي، وبناء منازل صخرية محصنة، وإلى نهب للأماكن المحصنة في العصر الجليدي الصغير[284]. اضطر الأناسازيون مغادرة منازلهم مع حلول عام 1400، نتيجة قصور محاصيل الذرة وآلت بهم إلى الانقراض. تعطي الأشجار الحية والميتة في سبيرا نيفادا في كاليفورنيا سجلاً أمده 3000 عام عن تغيرات خط الأشجار[285]، فقد نمت غابات كثيفة فوق خط الأشجار الحالي في الاحترار الروماني من عام 400 إلى عام 1000، وانحدر خط الأشجار بسرعة إلى الأسفل بين عام 1000 وعام 1400، واستمر بالانحدار نحو الأسفل، من عام 1500 إلى عام 1900. ولم يتغير خط الأشجار الحالي منذ عام 1900. بيّنت دراسات غبار الطلع في جنوب أونتاريو (Ontario) أن شجر الزان في العصور الوسطى بدل بالسنديان في العصر الجليدي الصغير. ويستمتع شجر الزان الآن بظروف دافئة بينما يتحمل السنديان الظروف الباردة[286]. وتبين ترسبات البحيرات في جنوب ألبرتا (Alberta) (كندا) زيادة هطول المطر خلال احترار العصور الوسطى وانخفاض كمية الأمطار التي تعكس الظروف الأكثر جفافاً في العصر الجليدي الصغير[287].

مرّ النصف الجنوبي من الكرة الأرضية بعصور مظلمة أيضاً، واحترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير. ويُظهر كيمياء الكربون في الأرجنتين للقرى ما قبل التاريخية أن أهل هذه القرى تجمعوا في الأودية السفلية خلال العصور المظلمة. وارتفعت قراهم على المنحدرات إلى الأعلى حتى 4300 متر في الأنديز (Andes) البروقية الوسطى خلال احترار العصور الوسطى لتستفيد من المناخ الأدفأ المستقر. ورجع السكان إلى أسفل المنحدرات عام 1320 عندما بدأ

---

(284) B. Fagan, *Floods, Famines and Emperors: El Niño and the Fate of Civilizations* (New York: Basic Books, 1999).

(285) J. L. Graumlich, «Global Change in Wilderness Areas: Disentangling Natural and Anthropogenic Changes,» *U. S. Department of Agriculture Forest Service Proceedings*, vol. 3 (2000), RMRS-P-15.

(286) I. D. Campbell, and J. H. McAndrews, «Forest Disequilibrium Caused by Rapid Little Ice Age Cooling,» *Nature*, vol. 366 (1993), pp. 336-338.

(287) C. Campbell, «Late Holocene Lake Sedimentology and Climate change in Southern Alberta, Canada,» *Quaternary Research*, vol. 49 (1998), pp. 96-101.

العصر الجليدي الصغير الأبرد وغير المستقر[288]. وبينت مجموعة تقارير الفيضان، ودفاتر البحارة ومذكرات العامة أنه كان في وسط الأرجنتين أمطار خلال احترار العصور الوسطى أكثر من الآن، وأن درجات الحرارة وصلت إلى 2.5 درجة مئوية أعلى من الآن[289].

شعرت الحياة النباتية في جنوب أميركا هي أيضاً بآثار تغير المناخ، وبخاصة في العصر الجليدي الصغير، وغبار الطلع الذي استخرج من ترسبات البحيرات في البيرو زودنا بسجل مدته 4000 عام عن المناخ. وبواسطته أمكن رؤية الاحترار الروماني وتراجع الأمطار خلال العصور المظلمة. وأشارت الزيادة في طبقات غبار الطلع إلى احترار العصور الوسطى ودرجات حرارة أدفأ، وإلى مزيد من النباتات وتنوع زراعي أكبر، ثم تبعه انخفاض في هذه الطبقات في العصر الجليدي الصغير[290]. وقد أظهرت ترسبات البحيرات من مستوى بركاني مرتفع في أماكن أخرى من جنوب أميركا أن المناخ وتساقط المطر تغير بسرعة، وكان العصر الجليدي الصغير ميزة بارزة[291].

في جنوب المحيط الهادي، خلال الاحترار الروماني، حصلت هجرة سريعة للبولينيزيين (Polynesians) بين الجزر التي استوطنوها. جزيرة إيستر (Easter) حوالى عام 400. عندما نقشت رسومهم على كتل كبيرة من الحجر هناك بين عامي 1000 و1350، خلال زمن مليء باحترار العصور الوسطى. ثم حلّت المجاعة عام 1350، وأصبحت الجزيرة الممطرة الاستوائية صحراءً باردة وجافة خلال العصر الجليدي الصغير. لجأ سكان جزيرة إيستر عندها بحلول عام 1600، إلى أكل لحوم البشر وتناقص عدد السكان بكثرة[292]. ثم استوطنت كل من جزيرة توكيلاو (Tokelau)، سوسايتي (Society)، وأوسترال (Austral)،

(288) M. A. Cioccale, «Climatic Fluctuations in the Central Region of Argentina in the Last 1000 Years,» *Quaternary International*, vol. 62 (1999), pp. 25-47.

(289) M. Iriondo, «Climatic Changes in the South American Plains: Records of a Continent-Scale Oscillation,» *Quaternary International*, vols. 57-58 (1999), pp. 93-112.

(290) A. J. Chepstow-Lusty [et al.], «A Late Holocene Record of Arid Events from the Cuzco Region, Peru,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 18 (2003), pp. 491-502.

(291) V. L.Valero-Garces [et al.], «Palaeohydrology of Andean Saline Lakes from sedimentological and Isotopic Records, Northwestern Argentina,» *Journal of Palaeolimnology*, vol. 24 (2000), pp. 343-359.

(292) G. McGall, *Pacific Islands Yearbook* ([n. p.]: Fiji Times, 1995).

ومارشل (Marshall)، وماركويزاس (Marquesas)، وتونغا وفيجي (Tonga and Fiji) في فترة الاحترار الروماني. وكانت نيوزيلندا قد توطدت أولاً في احترار العصور الوسطى[293] عندما ازدهر سكان جزر جنوب المحيط الهادي[294].

بيّن تحليل الدلائل الفيزيائية من 112 دراسة عن احترار العصور الوسطى في غرينلاند، وأوروبا، وروسيا، والولايات المتحدة الأميركية، والصين، واليابان، وأفريقيا، وتشيلي، والأرجنتين، والبيرو، وأستراليا والقطب الجنوبي[295] أن احترار العصور الوسطى كان حدثاً مسجلاً. كما أمكن قياس احترار العصور الوسطى في ترسبات قاع البحر في شمال الأطلسي، وكذلك جنوب الأطلسي بالقرب من القطب الجنوبي، وجنوب المحيط الهندي ووسطه، ووسط المحيط الهادي وغربه.

لم تكن هناك صناعات تصدر ثاني أكسيد الكربون CO_2 في احترار العصور الوسطى. وكان هذا الاحترار الطبيعي أعظم من احترار أواخر القرن العشرين الذي يقال لنا إن انبعاثات الإنسان لثاني أكسيد الكربون CO_2 هي التي سبّبته.

العصر الجليدي الصغير (1280 ـ 1850م)

انتهى مناخ العصور الوسطى المثالي بسرعة مع بداية العصر الجليدي الصغير، في عام 1303. واستمر هذا التغير المناخي ثلاثاً وعشرين سنة، وأدى إلى مجاعات وتناقص في عدد السكان، وحرب، وأمراض[296]. وبدأ العصر الجليدي الصغير عندما أصبحت الشمس خاملة مرةً أخرى. وكان أوطأ نشاط شمسي وولف الدنيا (Wolf Minimum) للفترة (1280 إلى 1340) يمثل زمن ضعف فيه الكلف الشمسي، وسبّب نقص النشاط الشمسي غيوماً متزايدة، فأصبح الكوكب بارداً. وقد مدّ العصر الجليدي الصغير بعدد من الفترات التي أصدرت فيها الشمس طاقةً أقل. وكانت هذه درجات شبورر الدنيا (Spörer

(293) P. Houghton, *People of the Great Ocean: Aspects of Human Biology of the Early Pacific* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1996).

(294) Patrick D. Nunn, Climate, *Environment and Society in the Pacific during the Last Millennium* (Boston [Mass.]: Elsevier, 2007).

(295) W. Soon, and S. Baliunas, «Reconstructing Climatic and Environmental Changes of the Past 1,000 Years: A Reappraisal,» *Energy and Environment*, vol. 14 (2003), pp. 233-296.

(296) H. H. Lamb, *Climate, History and the Modern World* (New York: [Methuen], 1982).

(Minimum) (1450 ـ 1540)، وماوندر الدنيا (Maunder Minimum) (1645 ـ 1715) ودالتون الدنيا (Dalton) (1795 ـ 1825)[297]. وكانت ماوندر الدنيا أقساها برودةً في العصر الجليدي الصغير. حيث تحولت أوقات الأعياد فجأةً إلى أوقات مجاعات[298]، ولم يكن العصر الجليدي الصغير زمناً حسناً للعيش على كوكب الأرض[299].

الحقيقة أن العصر الجليدي الصغير لم يكن عصراً جليدياً مكتملاً بحق. فقد كان فترةً فاصلةً باردة ضمن الفترة ما بين الجليدية (Interglacial) الحالية. وإن ما جعل العصر الجليدي الصغير صعباً بالتحديد وجود مئات السنين من الدفء في احترار العصور الوسطى، كان فيها عدد السكان يتزايد مدعوماً بالزراعة التقليدية. ثم بدلت هذه الزراعة بعد ذلك في بريطانيا بالزراعة المختصة لدعم سكان المدن. وتأقلم نصف الكرة الأرضية الشمالي مع الأزمنة الدافئة بدون أن يكون مستعداً للبداية المفاجئة للأزمنة الباردة. وقد أحدث ذلك كارثةً بيئية، فتناقص عدد السكان تناقصاً كبيراً، ولفت هذه الكارثة العالم بأسره، فانخفض عدد سكان جزر المحيط الهادي بشدة مع بداية العصر الجليدي الصغير[300]. وكانت مناطق أخرى من العالم باردة وجافة، وبخاصة خلال فترات ضعف الطاقة الشمسية شبورر وماوندر ذوي الدرجات الدنيا[301].

هذا ولم يكن الجو بارداً خلال العصر الجليدي الصغير وحسب، بل كانت هناك تقلبات سريعة في درجة الحرارة والانخساف، وقد تبع هذه التقلبات عام من البرودة (1685 ـ 1686) خلال «ماوندر» الدنيا، وعام من السخونة سجلت درجات حرارة عالية (1683 ـ 1684). تميز التغير نحو المناخ الجليدي بتغيرات قاسية في درجات الحرارة، والعواصف، والانخساف من دون احترار. وكانت هذه التغيرات

---

(297) J. C. Ribes and E. Nesme-Ribes, «The Solar Sunspot Cycle in the Maunder Minimum AD 1645 to AD 1715,» *Astronomy and Astrophysics*, vol. 276 (1993), pp. 549-563.

(298) L. Ladurie and E. Ladurie, *Times of Feast, Times of Famine*, translated by Barbara Bray (Garden City, NY: Doubleday, 1971).

(299) B. Fagan, *The Little Ice Age: How Climatic Change Made History 1300-1850 AD*. (New York: Basic Books, 2000).

(300) P. D. Nunn, «Environmental Catastrophe in the Pacific Islands around A. D. 1300,» *Geoarchaeology*, vol. 15 (2000), pp. 715-740.

(301) R. Touchan [et al.], «May-June Precipitation Reconstruction of Southwestern Anatolia, Turkey during the Last 900 Years from Tree Rings,» *Quaternary Research*, vol. 68 (2007), pp. 196-202.

محلية، وعالمية، وسريعة. وكان لها أثر عميق في المجتمع البشري[302].

ولدينا الآن صورة موثقة عن الفترات قاسية البرودة خلال العصر الجليدي الصغير استلت من سجلات الطقس. وزودتنا الكتابات الخاصة، وسجلات السفن، وكتابات الحملات العسكرية وغيرها من المصادر المشابهة بوصف لاتجاهات الرياح وسرعتها، وتكون الغيوم وغيرها من مؤشرات الطقس. كما أعطتنا التواريخ والسجلات السنوية المؤرخة، والكتابات المحررة والسجلات الزراعية ودفاتر الضريبة معلومات غير مباشرة، وبخاصة عن أحداث الطقس الشديدة. ووفرت لنا سجلات مواسم قطاف العنب والملح من أحواض التبخر وأسعار الحبوب دليلاً جيداً عن درجات الحرارة، وهطول الأمطار وهبوب الرياح. فعلى سبيل المثال، كانت أسعار الحبوب أعلى في فترات النشاط الشمسي الضعيف («ماوندر» الدنيا 1645 ـ 1715 ودالتون القصوى 1775 ـ 1825) عندما كانت أوروبا شديدة البرودة. ويمكن استعمال دلائل خلفتها التجلدات، ووحول البحيرات والمحيط والطلع والحشرات في الطين، وحلقات نمو الأشجار السنوية، وتركيب نمو العروق المرجانية، وتحليلات لب الجليد، وحفر السبر، واستقصاءات المواقع الآركيولوجية، والسجلات التاريخية، لإعادة بناء ظروف العصر الجليدي الصغير. ولم يكن ذلك مشهداً جميلاً[303].

إن المناخ البارد وتمدد أنهار الجليد في العصر الجليدي الصغير مسجل في جميع القارات وفي جزر رئيسية ابتداءً من نيوزيلندا في جنوب المحيط الهادي إلى سفالبارد (Svalbard) في البحر القطبي الشمالي[304]. ولم يكن العصر الجليدي الصغير حقبة فريدة كئيبة باردة. فقد تخللها دفء وفترات باردة واختلافات متميزة في المناخ، بالإضافة إلى النشاط التجلدي، بحسب المناطق. ففي أوروبا[305] وشمال أميركا[306] مرت ست مراحل من التوسع

(302) P. D. Nunn and J. M. R. Britton, «Human-Environment Relationships in the Pacific Islands Around A. D. 1300,» *Environment and History*, vol. 7 (2001), pp. 3-22.

(303) B. W. Tuchman, *A Distant Mirror: The Calamitous 14th Century* (New York: Penguin, 1979).

(304) J. M. Grove, *The Little Ice Age* (London: Methuen, 1988).

(305) J. I. Svendsen and J. Mangerud, «Holocene Glacial and Climatic Variations on Spitsbergen, Svalbard,» *The Holocene*, vol. 7 (1997), pp. 45-57.

(306) B. H. Luckman, G. Holdsworth and G. D. Osborn, «Neoglacial Fluctuations in the Canadian Rockies,» *Quaternary Research*, vol. 39 (1993), pp. 144-153.

الجليدي على الأقل. وقد فصل بين هذه المراحل فترات دافئة[307][308].

تكشف العروق المرجانية في مضائق فلوريدا تغيرات في الكربون (C^{14}) خلال العصر الجليدي الصغير[309]، ما يظهر أن الغلاف الجوي للأرض كان يُقذَف بأشعة كونية إضافية في أبرد زمن للعصر الجليدي الصغير. وبيّنت كيمياء الكربون المرجاني أن ماوندر الدنيا في فلوريدا كان في زمن ماوندر الدنيا ذاته في أوروبا. فلا بد أن آثار العصر الجليدي الصغير كانت منتشرة.

إن دراسات الحزاز فتحت لنا نافذةً عن نطاق جليد العصر الجليدي الصغير في آيسلندا[310]. وقد أظهرت دراسة أربعة تجلدات، أن أقصى نطاقاً للجليد كان في منتصف القرن التاسع عشر، وأن هناك علاقة بين كتل الجليد ومتوسط درجات الحرارة في الصيف.

في أماكن أخرى من شمال أميركا تجاوبت الغابات لبرد العصر الجليدي الصغير[311]، متناهي الشدة. فيبين نبات ذيل الثعلب الصنوبري (Foxtail Pin) وهو نبات عاري البذور ذو عناقيد زهرية مستدقة ناعمة أوشائكة، وشجر العرعر الغربي (Western Juniper) في جنوب جبال سييرا نيفادا أن الجو كان من عام 1100 إلى عام 1375 أدفأ من الأزمنة الحالية، وكان أبرد ابتداءً من عام 1450 حتى عام 1850. كما تظهر حلقات نمو الأشجار السنوية في شجرة الصنوبر طويلة العمر عند حاجز كاليفورنيا ـ نيفادا، أن بعض الأشجار يتجاوز عمرها 5500 عام. ويتلازم متوسط درجات الحرارة في كل مئة سنة، ابتداءً من عام 800 إلى الآن، مع درجات الحرارة في وسط إنجلترا[312].

يتفق التاريخ ومعرفة الأزمنة الحديثة على أن العالم كان مكاناً مختلفاً في

---

(307) Magnus Magnusson, *Iceland Saga* (London: Bodley Head, 1987).

(308) A. Nesje and S. O. Dahl, *Glaciers and Environmental Change* (London: Arnold, 2000).

(309) E. M. Druffel, «Banded Corals: Changes in Oceanic Carbon-14 during the Little Ice Age,» *Science*, vol. 218 (1982), pp. 13-19.

(310) C. J. Caseldine, «The Extent of Some Glaciers in Northern Iceland during the Little Ice Age and the Nature of Recent Deglaciation,» *The Geographical Journal*, vol. 151 (1985), pp. 215-227.

(311) I. D. Graumlich, «A 1,000 -Year Record of Temperature and Precipitation in the Sierra Nevada,» *Quaternary Research*, vol. 39 (1993), pp. 249-255.

(312) V. C. LaMarche, «Palaeoclimatic Interferences from Long Tree Ring Records,» *Science*, vol. 183 (1974), pp. 1043-1048.

العصر الجليدي الصغير. ففي النصف الثاني من القرن السابع عشر استعمل الجيش الفرنسي أنهاراً متجمدة كطرق عامة لغزو هولندا، بينما مشى أهل نيويورك من منهاتن إلى جزيرة ستاتن مشياً وليس إبحاراً. وأحاط جليد البحر آيسلندا، فحبس السكان وسبّب مجاعات. ولم تكن هذه هي المرة الأولى التي حدث فيها ذلك، إذ فقد الفايكنغز في الفترة بين 1420 و1570 دواجنهم وزراعتهم وحياتهم، وكان هذا في النصف الأول من العصر الجليدي الصغير. هنالك من يقول إن النقص المزمن في المحصول والخبز في أواخر القرن الثامن عشر في فرنسا بسبب المناخ السيئ، أدى إلى استياء اجتماعي دعم الثورة الفرنسية.

كان للعصر الجليدي الصغير فترتان باردتان، وشمل أربع فترات شديدة البرودة في أزمنة تناقص نشاط كلف الشمس. وصودق على ذلك بقياس نظائر (Isotopes) الأكسجين الخفيفة والثقيلة في صواعد ثلجية في كهف في إيرلندا. وحددت هذه الصواعد احترار فترات العصور الوسطى، والعصور المظلمة والاحترار الروماني[313]. ثم تقدمت أنهار الجليد وتراجعت في العصر الجليدي الصغير، ودمرت قرى ألبية أوروبية خلال التقدم التجلدي وسويت الغابات بالأرض. وأظهرت المنطقة الشمالية الشرقية من المحيط الهادي دلائل على تقدمين جليديين رئيسيين دمّرا الغابات، استقرت بعدها التجلدات بعد تقدم، وتراجع بعضها قليلاً. وكانت التقلبات الجليدية تنحو نحو التدهور[314]. ويبيّن هذا أيضاً أن العصر الجليدي الصغير لم يكن مقتصراً على أوروبا.

كان المناخ يتغير خلال المرحلة الأولى من العصر الجليدي الصغير (1280 ـ 1550) أكثر مما يتغير في احترار العصور الوسطى أو في المرحلة الثانية. وقد جلب الاختلاف الأقصى صيفاً دافئاً وجافاً جداً في بعض السنوات، وصيفاً بارداً كثير المطر في سنوات أخرى. وازداد تكرار العواصف في بحر الشمال والقناة الإنجليزية[315]. وكان هناك شتاء قطب شمالي، وصيف حار نتن، وجفاف حاد،

(313) F. McDermott, D. P. Mattey, and C. Hawkesworth, «Centennial-Scale Holocene Climate Variability Revealed by High-Resolution Speleotherm $\delta^{18}O$ Record from SW Ireland,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 1328-1331.

(314) G. C.Wiles, D. J. Barclay and P. E. Calkin, «Tree-Ring Dated «Little Ice Age» Histories of Maritime Glaciers from Western Prince William Sound, Alaska,» *The Holocene*, vol. 9 (1999), pp.163-173.

(315) J. Luterbacher [et al.], «The Late Maunder Minimum (1675-1715)-A Key Period for Studying Decadal Scale Climatic Change in Europe,» *Climatic Change*, vol. 49 (2001), pp. 441-462.

وأمطار غزيرة وفيضانات في بعض المناطق، وشتاء طويل وصيف طويل في مناطق اخرى. وأعلن نمو صفائح الجليد في غرينلاند العصر الجليدي الصغير في مرتفعات عليا في أوائل القرن الثالث عشر. ثم غطى الجليد كثيراً من آيسلندا، واسكندينافيا وشمال أوروبا، وحدث انهيال الثلوج عند المنحدرات وصارت الفيضانات أكثر شيوعاً[316]. وضعف تيار غولف ستريم (Golf Stream)، وهو التيار البحري المعروف الذي يساعد على جلب الطقس الدافئ إلى كثير من مناطق شمال الأطلسي، خلال العصر الجليدي الصغير[317]. وقد قيل إن انسياب مياه هذا التيار قد تناقص بين عامي 1200 و1850، وهو نموذج كبير من التيارات البحرية التي تحمل مياهاً سطحية دافئة استوائية إلى شمال شرق الأطلسي نحو أوروبا، بنسبة 10 في المئة، فنقل سخونةً أقل إلى أوروبا[318]. ويظهر أحفوري المنخربات (Foraminifer) (حيوانات بحرية دنيا مثقبة الأصداف) من لب المترسبات وجود تحول جنوبي لنطاق المطر الاستوائي الذي يغذي الأطلسي بمياه عذبة. وينتج هذا المطر طبقة سطحية أقل كثافة من المياه التي تساند تيار السطح المنساب شمالاً.

ظهر تغير شديد في طقس أوروبا الشرقية في القرن الثاني عشر. وكان القرن الرابع عشر في أوروبا الغربية ممطراً جداً، وبخاصة بين عامي 1313 و1321. وضعفت المحاصيل عام 1315. وكان الجو بارداً وممطراً. وجرفت الأمطار الغزيرة التربة السطحية، وتناقصت المحاصيل عامةً في موسم النمو المقصر. وهجرت المناطق المرتفعة والبعيدة جداً عن خط الاستواء التي كانت حقولاً خصبة خلال احترار العصور الوسطى بسبب درجة الحرارة المنخفضة والمطر المتزايد. وأصبحت الانهيالات (Landslides) في المناطق العالية أكثر شيوعاً[319]، ومع تقدم أنهار الجليد، دمرت قرىً كثيرة. وبدأ النظام الإقطاعي

(316) J. M. Grove, «The Incidence of landslides, Avalanches and Floods in western Norway during the Little Ice Age,» *Arctic and Alpine Research*, vol. 4 (1972), pp. 131-138.

(317) D. C. Lund, J. Stieglitz and W. B. Curry, «Gulf Stream Density Structure and Transport During the last Millennium,» *EOS*, vol. 86 (2005), p. 52.

(318) D. C. Lund, J. Lynch-Stieglitz, and W. B. Curry, «Gulf Stream Density, Structure and Transport during the Last Millennium,» *Nature*, vol. 444 (2006), pp. 601-644.

(319) F. Dapples, [et al.], «New Records of Holocene Landslide Activity in the Western and Eastern Swiss Alps: Implications for Climate and Vegetation Changes,» *Ecologae Geologicae Helvetiae*, vol. 96 (2003), pp. 1-9.

في أوروبا بالسقوط مع قصور المحصول والمجاعات والطاعون الدملي وانهيار المجتمع. وهاجم الطاعون السكان المكتظين على بعضهم البعض في النصف الشمالي من الكرة الأرضية عام 1347. وكان تناقص عدد السكان شديداً جداً حتى تطلب رجوع عدد السكان في نصف الكرة الأرضية الشمالي إلى ما كان عليه عام 1280 مئتين وخمسين عاماً. وكان الطاعون «الموت الأسود» قابلة أوروبا الحديثة، وقد ظهر في العصور المظلمة عندما كان الجو بارداً، ثم ظهر مرةً أخرى في العصر الجليدي الصغير. وربما كان العصر الجليدي الصغير الآلية المحركة له. وساعد عدد السكان الذين تركوا الحقول وعاشوا في أحياء ضيقة في المدن على الانتشار السريع للطاعون[320].

هاجرت الحياة البحرية عندما تقدم جليد البحر. وتراجعت مراعي القد (Cod Fish) التي خدمت الفايكنغز، فالقد محدود تحمله لدرجات الحرارة المنخفضة ويعاني فشلاً كلوياً عند درجات حرارة أقل من درجتين مئويتين. وعليه اختفت في النرويج، وغرينلاند وآيسلندا كميات الأسماك الكافية التي كانت مصدراً مهماً للبروتين. واتسع الجليد في السويد وفنلندا وخسرت الأراضي الزراعية[321]، وتُظهر سجلات الضرائب أن نقصاً في البضائع قد حصل وكان هناك انهيار اقتصادي في أعالي النرويج[322]. وكانت قوارب الصيد الباسكية تصطاد القد من الساحل الكندي الشرقي بعد خمس سنوات من اكتشاف كريستوفور كولومبوس لشمال أميركا. وربما كانوا يصطادون في هذه المياه قروناً قبل اكتشاف العالم الجديد. ثم اختفى القد الكافي من المياه حول جزر الفايرو، بخاصة في فترة باردة في منتصف أواخر القرن السابع عشر (ماوندر الدُنيا).

أدى هجر الأراضي ونقص المحصول وفقر التربة إلى كوارث، لأن 90 في المئة من السكان كانوا عائلات زراعية تحتاج حبوباً كافية لبذرها خلال الشتاء وتوفيراً كافياً للزرع لمحصول العام القادم. فكمية المحصول ونوعيته أمران

(320) N. F. Cantor, *In the Wake of the Plague: The Black Death and the World it Made* (New York: Harper Perennial, 2002).

(321) O. Petterson, «Climatic Variations in Historic and Prehistoric Times,» *Svenska Hydrografs Biology Konnor Skriften*, vol. 5 (1914).

(322) J. Grove, and A. Battagal, «Tax Records from Western Norway as an Index of Little Ice Age Environmental and Economic Deterioration,» *Climate Change*, vol. 5 (1990), pp. 265-282.

حيويان للاستمرار، وقد فسد المحصول في الحقول ولم يكن ممكناً زراعته أحياناً على الإطلاق. وقد أدى قصور المحصول إلى مجاعة، وأدت المجاعة إلى أمراض وإلى الموت، وإلى انهيار المجتمع وحتى إلى أكل لحوم البشر، فكانت مجموعات القرويين الجائعين تجول في الريف باحثةً عن الغذاء. وحفز حصاد الحبوب التي كانت تحفظ وهي رطبة لا سيما الجاودار (Rye) (نبات كالشعير)، على نمو الفطر السام الأرغوت (Ergot) الذي ضرب مخزون الحبوب. فأكل الجائعون حبوباً موحلة احتوت على سموم فطرية. وأدى هذا إلى التسمم الأرغوتي (نار القديس أنتوني) الذي يسبب تشنجات، وهلوسات، وهيستريا جماعية والموت. وفي حالات قصوى، يؤدي التسمم الداخلي للسموم الفطرية إلى مرض الغنغرينة (Gangrene) التي تسبب بتر الأطراف[323].

وتبين مقاطع (الأشجار وحفريات) خشبية من القرن الرابع عشر أن مرض «القديس أنتوني» كان محاطاً بأيد وأرجل مقطوعة. وكان الطقس المروع علامةً واضحة لبعض المسيحيين بأن الشيطان سيطر على الأرض. فلوِّمت الساحرات وأحرق الألوف منهن، فقد كان معروفاً جيداً أن الساحرات يسببن قصوراً مستمراً في المحاصيل[324].

كان المنزل النموذجي في شمال أوروبا عبارة عن غرفة صغيرة مع أرضية ترابية، بلا عزل، ولا زجاج في النوافذ، من القش. يجلس الناس حول نار مركزية على كراس منخفضة لتجنب الدخان. وكان الخشب نادراً لأنه يتطلب امتلاك غابة وأدوات قطع معدنية. وقد تميز العصر باكتظاظ الناس والرطوبة، والملابس المبلولة دائماً، بالإضافة إلى سوء التغذية وضعف الصحة وندرة وقود التسخين. لقد كانت بيئةً مثالية حقاً للأمراض. وكان وباء التيفوئيد، الذي ينشره القمل، أكثر شيوعاً في الشتاء، لأن الذين ساءت تغذيتهم اجتمعوا في أكواخ ليتقاسموا دفء الجسم والنيران. وتحولت الرشوحات إلى مرض ذات الرئة (بنمونية). ونما مرض السل في مناطق مكتظة بالناس، كما نما التيفوئيد،

---

(323) S. M. Garn and W. R. Leonard, «What Did our Ancestors Eat?» *Nutrition Reviews*, vol. 47 (323) (1989), pp. 337-345.

(324) W. Behringer, «Climate Change and Witch-Hunting. The Impact of the Little Ice Age on Mentalities,» History Department, the University of York <http://www.york.ac.uk/depts/hist/staff/wmb1>.

والديفتيريا والسعال الديكي. ونتج من الأمراض في العصر الجليدي الصغير تناقص كبير في عدد السكان. فيما يتحلق الأوروبيون حول النار الداخنة؟ كانوا يتحدثون عن الطقس بالطبع.

أدّى الطقس البارد إلى الإبداع. فالنوافذ الزجاجية كانت استجابةً لهذه الأزمنة. حيث أبقت البرد خارجاً وسمحت برؤية العالم. وازدهر الهولنديون عندما هاجر السمك من مناطق شمالية إلى المياه الهولندية. كما أدت العواصف العاتية المتكررة في القرنين السادس عشر والسابع عشر بالهولنديين إلى أن يطوروا التكنولوجيا لاسترداد الأرض المنخفضة من البحر[325].

انتهت تجارة احترار العصور الوسطى وأسفارها، فقد كانت البحار في تلك العصور أشد عصفاً وكانت الأمواج أعلى، وازداد الجليد فيها. وأصبحت الطرق على اليابسة مستنقعات يتعذر اجتيازها، وأغلقت طرق الجبال فترات طويلة وأصبحت معارض التجارة أمراً من الماضي. وبحلول أربعينيات القرن الرابع عشر، كان على الخط البحري بين آيسلندا وغرينلند أن يتبع مسافة أطول، وطرقات متجهة جنوباً أكثر لتجنب الجليد والطقس الغدار[326]. ودمرت العواصف القوية في القرن الثالث عشر والقرن الرابع عشر أصقاعاً كبيرة من الأراضي المنخفضة في شمال ألمانيا، وهولندا والدانمارك[327]، وقتل أكثر من 100,000 شخص.

حلّ اليأس في المستعمرات الاسكندنافية نورس (Norse) في غرينلاند، حيث يوجد هناك موسم زراعي أقصر وعشب أقل للماشية والغنم، وحال جليد البحر دون إبحار القوارب، ولم يكن هناك غابات لخشب الموقد. وكان للمناخ المتجمد ونقص الغذاء أثر شديد في سكان غرينلاند. حيث كانت هناك 225 مزرعة مهجورة في أوستربيغد (Osterbygd) عام 1500. وأظهرت الهياكل العظمية في المقابر أن متوسط طول أهل غرينلاند تناقص عل الأقل 12 سنتمتراً خلال 200 عام الأولى من العصر الجليدي الصغير. وبيّنت دراسة للتركيب الكيميائي لأسنان الفايكنغز أنه كان هناك انخفاض مقداره 1.5 درجة

(325) W. J. Wolff, *Netherlands-Wetlands. Hydrobiologia*, vol. 265 (2006), pp. 1-14.

(326) K. J. Krogh, *Viking Greenland* (Copenhagen: National Museum of Denmark, 1967).

(327) Helgoland Mud Area, German Bight, North Sea,» *Geo-Marine Letters*, vol. 23 (2003), pp. 81-90.

مئوية[328][329] بين عام 1100 و1400. وأظهر تفحص لمقابر الفايكنغز أن المقابر أصبحت مع مرور الوقت، أقل عمقاً بينما عاد الجمد (الجليد الدائم) السرمدي[330]. وأصبحت غرينلاند والقطب الجنوبي أعصف وأكثر رياحاً مع بداية العصر الجليدي الصغير، كما ظهر ازدياد في رذاذ البحر في لب الجليد[331]. وكان هذا قد قرع ناقوس موت «الفايكنغز» الذين واجهوا صعوبة أكبر في الهروب من غرينلاند بسبب كتل الجليد والبحار الأكثر عصفاً ورياحاً. ولم ينج إلا القليل حتى أصبحت مستعمرة غرينلاند، التي أنشأها إيريك الأحمر في احترار العصور الوسطى، مأهولة بالمهاجرين. ونجا الإنيوويت (Enuit) (أسكيمو القارة الأميركية) فقط.

وكان النصف الثاني من العصر الجليدي الصغير (1550 ـ 1850) أبرد وأكثر تغيراً. وحدث تغير سريع جداً في منتصف القرن السادس عشر. وانعكس هذا التغير على الحياة النباتية. وتعطي طبقة مرتفعة من الخث في جنوب اسكوتلندا سجلاً مناخياً ونباتياً خلال السنين الـ 5500 الماضية، أظهرت دورات لـ 210 سنوات من المناخ المتبدل بين البارد والممطر والدافئ مع أبرد زمن وأكثره رطوبة في العصر الجليدي الصغير خلال شبورر الدنيا (1450 ـ 1540)[332]. ويصادف ذلك دورة شمسية لـ 210 سنوات في طولها، وهي دورة دي فريس سويس (De Vries-Suess).

ويبدو أن النصف الأول من القرن السادس عشر كان أدفأ في أوروبا من الـ 150 عاماً التي قبلها، التي شهدت تناقصاً ثابتاً في درجات الحرارة بعد فترة احترار العصور الوسطى، فقد كان الناس خلال أوائل القرن السادس عشر قادرين على الاستحمام في نهر الراين في شهر كانون الثاني/ يناير. وسمحت

---

(328) R. Monastersky, «Viking Teeth Recount Sad Greenland Tale,» *Science News*, vol. 19 (1994), pp. 310.

(329) H. C. Fricke, J. R. O'Neil and N. Lynnerup, «Oxygen Isotope Composition of Human Tooth Enamel from Medieval Greenland: Linking Climate and Society,» *Geology*, vol. 23 (1995), pp. 869-872.

(330) J. G. Jones, *A History of the Vikings* (Oxford: Oxford University Press, 1968).

(331) K. J. Kreutz [et al.], «Bipolar Changes in Atmospheric Circulation during the Little Ice Age,» *Science*, 277 (1997), pp. 1294-1296.

(332) F. M. Chambers [et al.], «A 5500-Year Proxy-Climate and Vegetation Record from Blanket Mire at Talla Moss, Borders, Scotland,» *The Holocene*, vol. 7 (1997), pp. 391-399.

فترة دافئة قصيرة في القرن السادس عشر بعودة السفن إلى غرينلاند، ليجدوا أن السكان الفايكنغز الذين عاشوا على الشواطئ قد ماتوا جوعاً وتجمدوا.

غير أن هذه الفترة الدافئة المبكرة من القرن السادس عشر لم تكن لتستمر، فقد حدث ابتراد سريع. وكان شتاء 1564 ـ 1565 بارداً وقاسياً. أعلن عن مجيء فصول شتوية مشابهة جلبت الصعاب وقلة الراحة الاجتماعية في أوروبا. وكانت السنوات الـ 150 أو 200 القادمات ذروة العصر الجليدي الصغير، تدنت فيها درجات الحرارة إلى أخفض مستوى منذ العصر الجليدي الرئيس الماضي[333]. وانتشر أثر هذا الابتراد المفاجئ في منتصف القرن السادس عشر[334]، فتوغلت التجلدات بسرعة في غرينلاند، وآيسلندا، واسكندنافيا وجبال الألب الأوروبية. وهُجرت بالنتيجة مناطق شاسعة وعالية كان فيها الثلج ينهمر بغزارة ويبقى على الأرض عدة أشهر، أطول مما يبقى عليه اليوم. لقد كانت فصول شتوية وصيفية باردةً جداً وممطرة. وأصبحت المواسم أكثر تغيراً بين السنين. وحاول المزارعون الأوروبيون أن يتأقلموا بتغيير ممارسات زرع المحاصيل للموسم الأقصر، الذي لا يمكن الاعتماد عليه، حتى حلّت المجاعات فاستغرقت سنوات كثيرة. وأحدثت عواصف عنيفة خراباً، وفيضانات وفقداً للحياة لبعض المناطق المجاورة للسواحل الدانماركية، والألمانية، والهولندية التي ذهبت مع البحر. وقد سجل الرسامون المعاصرون هذه المشاهد، ومنهم بييتر بروغل الأكبر (Pieter Brueghel the Elder) (1525 ـ 15469) الذي رسم نوعاً من مشهد ثلج شمل مشاهد توراتية، مثل عبادة السحرة في عاصفة ثلجية!

سجلت تغيرات المناخ أيضاً في أفريقيا. وسجل ثلج دائم في إثيوبيا وموريتانيا في أعالي قمم الجبال في مستويات لا تثلج اليوم. وفاض نهر النيجر في تمبكتو 13 مرة على الأقل، ولا توجد سجلات عن فيضان مشابه قبل منتصف القرن السادس عشر. وكانت القصة مشابهة في شمال أميركا، فقد تكلم المستوطنون الأوروبيون على مواسم شتاء قاسية. وقد كان جليد البحيرات الكبرى يستمر حتى منتصف الصيف.

إذا كان الهواء بارداً، فسوف يبرد سطح الأرض تحت أقدامنا. ولقد

---

(333) Grove, *Little Ice Age*.

(334) Lamb, *Climate, History, and the Modern World*.

تزامنت فترات من البرد الشديد مع نتاج الشمس الأضعف للطاقة. كما أعطى فحص مؤشرات درجة الحرارة في حفر السبر في أستراليا سجلاً لـ 500 عام من درجات الحرارة[335]. وكان القرن السابع عشر هو الأبرد في هذه الفترة الممتدة على مدى 500 عام، مع احترار في القرنين التاسع عشر والعشرين. وإن الاحترار في أستراليا خلال القرون الخمسة الماضية هو حوالى نصف الذي كان في قارات النصف الشمالي من الكرة الأرضية في الفترة ذاتها فقط. ويتوافق إعادة البناء الجيو حراري هذا مع دلائل حلقات الأشجار السنوية من تسمانياً (Tasmania) ونيوزيلندا. وإن بيانات حفر السبر في أستراليا أدق من بيانات حفر السبر في مناطق في النصف الشمالي للكرة الأرضية، إذ لم تكن هناك طبقة ثلجية في العصر الجليدي الصغير في أستراليا. والأهم من ذلك هو أن بيانات أستراليا وجنوب المحيط الهادي[336] تُظهر أن العصر الجليدي الصغير كان عالمياً. وهذا مناقض للقول إن العصر الجليدي الصغير كان محصوراً بالنصف الشمالي من الكرة الأرضية وسببه ضعف في تيار الخليج (Gulf Stream)[337].

بيّنت الصواعد في كهف في وادي ماكابانزغات (Makapansgat) في جنوب أفريقيا أن المنطقة كانت أبرد بدرجة واحدة مئوية من عام 1300 إلى عام 1800. وكانت أدنى درجات الحرارة المسجلة في جنوب أفريقيا في ماوندر وشبورر الأدنيين[338] (Maunder ans Spörer Minima). ومرةً أخرى يبدو واضحاً أن العصر الجليدي الصغير كان عالمياً ولم يكن إقليمياً.

كانت ماوندر (Maunder) الدنيا (1645 ـ 1715)) قاسية البرودة. فهجرت بساتين البرتقال في الصين من عام 1645 إلى عام 1676 بعد أن كانت موجودة لقرون في منطقة كيانجسي. وظهرت غابات السنديان التي تنمو في مناخ بارد في موريتانيا، ما يقترح أن جنوب الصحراء الأفريقية الكبرى كان أبرد وممطراً أكثر من الآن، وكان مستوى المياه في بحيرة تشاد أعلى بحوالى أربعة أمتار من

(335) H. N. Pollack, S. Huang, and J. E. Smerdon, «Five Centuries of Climate Change in Australia: The View from the Underground,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 21 (2006), pp. 701-706.

(336) Nunn, *Climate, Environment and Society in the Pacific during the Last Millennium.*

(337) D. C. Lund, «Gulf Stream Density Structure and Transport during the Past Millennium,» *Nature*, vol. 444 (2006), pp. 601-604.

(338) D. Tyson [et al.], «The Little Ice Age and Medieval Warming in South Africa,» *South African Journal of Science*, vol. 96 (2001), pp. 121-126.

الآن. لقد رسم الفنان أبراهام هوندیوس (Abraham Hondius) في عام 1676 صيادين يطاردون ثعلباً حول نهر التايمز المتجمد في إنجلترا. وكانت معارض الجليد تقام على التايمز، آخرها أقيم في عام 1813 ـ 1814 نحو نهاية العصر الجليدي الصغير. وقد كان لساحل القناة الإنجليزية في عام 1684 حزام جليدي يبلغ خمسة كيلومترات. وكان الجو بارداً جداً في عام 1695 حتى أن الجليد أغلق كل ساحل آيسلند في شهر كانون الثاني/يناير، وبقي كذلك لمعظم العام. ولم يكن صيد سمك القد ممكناً، وكان قليل من القش المصدر الوحيد لطعام الغنم والماشية[339].

وصف ملاحظ في سويسرا في بدايات القرن السابع عشر أن التجلد كان يتقدم يومياً بمسافة هي أقصر مدى تصله إطلاقة بندقية المسكيت [بندقية قديمة الطراز خاصة بجند المشاة]. وقد رأى أهل آيسلند الأوركنيون في الشمال البعيد لاسكتلندا قبائل الإنويت (Inuits) يجذفون زوارقهم الكاياك (زورق جلدي من زوارق الأسكيمو). وذهبت إحدى هذه الزوارق بعيداً باتجاه الجنوب حتى نهر الدون بالقرب من أبردين (Aberdeen). وقد دفع جليد بحر الشمال هؤلاء الصيادين والفقمة وسمك القد جنوباً.

قتلت المجاعات في أوروبا ملايين البشر بين عامي 1690 و1700، وتبعتها مجاعات عام 1725 وعام 1816[340]. ومع انفجار بركان تامبورا (Tambora) في إندونيسيا في 10 نيسان/أبريل عام 1815، أصبح الوضع متفاقماً. وسمع الانفجار على بعد 850 كيلومتراً. وعصفت قمة البركان المرتفعة 1400 متر في الهواء تاركةً فوهةً على امتداد 6 كيلومترات وعمق كيلومتر واحد. وكان انفجار البركان يعادل انفجار 60,000 قنبلة من حجم قنابل هيروشيما. قذف تامبورا إلى الجو عدداً من جسيمات الرماد يزيد سبع مرات على رماد بركان كراكاتاو (Krakatao) الشهير عام 1883. دخلت الجزر الإندونيسية إثر هذا البركان في ظلام دامس مدة يومين. ودمرت معظم المحاصيل بسقوط الرماد والتسونامي، وانغمر نحو 10,000 من سكان الجزر في الرماد، فيما يبست جميع النباتات في لومبوك وبالي

(339) P. Thoroddsen, *The Climate of Iceland through one Thousand Years* (Karymannaliofn: Reykjavik (Vol. 1, *1916-1917*; Vol. 2, *1908-1922*).

(340) L. Ladurie and E. Laduries, *Times of Feast, Times of Famine* (New York: Noonday Press, 1971).

وقتلت الأوبئة والمجاعات في الأشهر التالية أكثر من 80,000 إنسان. تبين سجلات صينية معاصرة أن الشمس اختفت في جزيرة هاينان، على بعد 2000 كيلومتر شمال تامبورا، وأدى مجموع درجات الحرارة المنخفضة، وهطول الأمطار والتجمدات غير الموسمية إلى تدمير ما تبقى من زراعة. كما ضرب الصينَ شتاءٌ بارد وعاصف غير عادي عام 1816 ـ 1817 مع قصور مفجع في المحاصيل.

ملأ الغبار الهائل الجو في نصفي الكرة الأرضية، وانحبس الضوء والسخونة، وعدد هائل من القطيرات الحمضية الكبريتيكية داخل الرماد الذي ترسب أيضاً في صفائح جليد غرينلاند. بَرَّز الفنانون التشكيليون في ذلك الوقت مثل ج. م. تورنر (J. M. W. Turner) غروب الشمس الباهت والبحار العاصفة. لقد عرف شتاء 1815 ـ 1816 بـ «عام لا صيف فيه» تلاه ثلاث فترات باردة طويلة ضربت كندا ونيو إنغلند في الولايات المتحدة الأميركية. أتلفت الفترة الأولى، في شهر حزيران/يونيو معظم المحاصيل. وأتلفت الفترة الثانية، في تموز/يوليو المحاصيل التي أعيدت زراعتها، والثالثة، في آب/أغسطس أتلفت الذرة والبطاطا والفاصوليا والكروم. وامتد شح المحاصيل الشديد والبرودة من شمال أميركا إلى الإمبراطورية العثمانية في الشرق الأوسط، وإلى مناطق من شمال أفريقيا وأوروبا. وتبع شح المحاصيل أوبئة التيفوس، وظهر الطاعون الدملي مرةً أخرى. ونهج القس إزرا (The Rev. Ezra)، رئيس جامعة ييل، على تسجيل درجات الحرارة اليومية من عام 1779، وكانت قياسات شهر حزيران/يونيو 1816 أبرد قياس حراري سجل في كنتكيت، أقل بـ 2.6 درجة مئوية من متوسط فترة 1780 ـ 1968 الطويلة، وكان عام 1816 أبرد عام في سجل الولايات المتحدة الأميركية طراً.

كانت أوروبا لاتزال تتعافى من التمزق الذي جاءت به حروب نابليار، التي حدثت خلال فترة من السنوات الباردة الممطرة[341]. وأحدثت سنوات 1816 ـ 1817 الباردة أزمة غذاء وعدم راحة منتشرة، وبخاصة في فرنسا. وحرك هذا الهجرة من أوروبا إلى أميركا وهجرة المزارعين الأميركيين من مناطق شمالية إلى مناطق أدفأ. وكان متوسط درجات الحرارة في المملكة المتحدة أدنى بدرجتين مئويتين، فكانت الأمطار تهطل أو الثلوج تنهمر في كل يوم تقريباً.

(341) درجة دالتون الدنيا.

ارتفعت على أثرها أسعار بورصة لندن للحبوب فجأةً. ونتجت من نقص المحاصيل في البنغال عام 1816 مجاعة أطلقت انتشاراً كبيراً للكوليرا. ثم انتشرت هذه من البنغال، فكان أول وباء عالمي للكوليرا. وصل الوباء إلى شمال غرب أوروبا، وروسيا وشرق الولايات المتحدة الأميركية في صيف عام 1832. وقد استغل الشاعر «اللورد بايرون» وضيوفه «ماري وبرسي شيلي» الصيف الكئيب لعام 1816 في بحيرة جنيف للكتابة. فكتبت ماري شيلي **فرانكنشتاين** (*Frankenstein*)، وكتب بايرون **الظلام** *(Darkness)*[342]. لقد أعطى تامبورا صورةً كئيبةً جداً أثر انفجار بركاني استوائي أو عن أثر ارتطام كويكب صغير. ولكنه أعطى صورة واضحة على آثار الابتراد الكوني.

من ناحية أخرى بيّنت دراسة لحلقات الأشجار السنوية أن النمو في الغابات الأوروبية عالية الارتفاع تباطأ بسبب البرد في العصر الجليدي الصغير. وأصبحت الغابات في مناطق أخرى مضغوطةً فاستبدلت بتوندرا [سهل أجرد في المنطقة القطبية الشمالية][343]. وقد بيّنت حلقات الأشجار بين عامي 1625 و1720 في ماوندر الدنيا، حلقات نمو ضيقة متميزة تنتج خشباً كثيفاً وقوياً. وربما عززت هذه الخصائص من جودة آلات الكمان التي صنعها ستراديفاريوس (Stradivarius)، الذي أنتج آلاته الأكثر شهرةً بين عامي 1700 و1720[344].

خلال الأزمنة الباردة كانت الغيوم تبدو منخفضة. وبيّن تحليل إحصائي تزايداً بطيئاً في ارتفاع الغيوم بين أوائل القرن الخامس عشر، ومنتصف القرن السادس

---

(342) رأيت حلماً، لم يكن كله حلماً،
لقد أطفئ نور النجم المضيء، وتجولت النجوم
معتمةً في المساحة الأبدية،
بدون أشعة، وبدون طريق، ودار الجليد الأرضي
أعمى وأصبح أسودَ في الهواء بدون قمر،
جاء الصباح وذهب-ثم جاء، ولم يأت بالنهار
ونسي الرجال عاطفتهم في روعة
أساهم، وبردت جميع القلوب
في صلاة أنانية للنور

(343) I. D. Campbell and J. H. McAnrews, «Forest Disequilibrium Caused by Rapid Little Ice Age Cooling,» *Nature*, vol. 366 (1993), pp. 336-338.

(344) L. Burckle, and H.Grissino-Mayer, «Stradivari, Violins, Tree Rings, and the Maunder Minimum: A Hypothesis,» *Dendrochronologicia*, vol. 21 (2003), pp. 41-45.

عشر (على سبيل المثال، شبورر الدنيا)، وذلك خلال دراسة استثنائية للغيوم أجراها عالم بالأرصاد الجوية درس أكثر من 6000 رسم لمناظر في صالات عرض فنية في أوروبا وشمال أميركا مرسومة بين عامي 1400 و1967. وتزايدت الغيوم المنخفضة بعد عام 1550 وتراجعت بعد عام 1850 (نهاية العصر الجليدي الصغير). وغطت الغيوم فصول الصيف في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر[345] بنسبة 50 إلى 75 في المئة (ماوندر ودالتون الدنيين). وعلى الرغم من أن الفنانين كانوا مرخصين في اختيار موضوعاتهم، لم تظهر أي من الرسومات البريطانية سماءً صافيةً، بينما أظهرت حوالى 12 في المئة من رسومات منطقة المتوسط سماءً صافيةً تماماً. كما أظهرت البيانات تزايداً في الغيوم بين عامي 1400 و1550، ثم كان هناك تزايد مفاجئ (أكثر من 50 في المئة)، وبخاصة في وفرة الغيوم المنخفضة. ووصل الغيم إلى ذروته في القرن السابع عشر (ماوندر الدنيا).

تتشكل الانهيالات (Avalanches) في الأزمنة الباردة عندما تحرك عملية التجمد والذوبان مواد غير مدمجة، وفي الربيع عندما تفقد المواد غير المدمجة الاستقرار بسبب المياه المنصهرة التي تعمل كمزلق. وحدثت معظم الانهيالات الرئيسية في جبال الألب السويسرية في الفترة الباردة قبل الاحترار الروماني، والعصور المظلمة والعصر الجليدي الصغير[346].

إن أحدث فترة باردة، كانت في العصر الثلجي الصغير، والتغيرات المناخية التي سبقته. وقد سجلت أحداث هذه الفترة في ترسبات قاع المحيط في غرب أفريقيا، ولب جليد غرينلاند، والانهيالات السويسرية، وترسبات قاع البحر من شمال المحيط الأطلسي، وترسبات القاع في بحر العرب، وصواعد الكهوف من ألمانيا وإيرلندا، وحرارة سطح البحر والهائمات [الكائنات الحيوانية أو النباتية الصغيرة المعلقة الطافية في المياه) في بحر سولو (Sulu Sea)][347]. على سبيل المثال، يبيّن بحر السرجس (Sargasso Sea) أن حرارة سطح البحر

(345) H. Neuberger, «Climate in Art,» *Weather*, vol. 25 (1970), pp. 46-56.

(346) F. Dapples [et al.], «New Record of Holocene Landslide Activity in the Western and Eastern Swiss Alps: Implication of Climate and Vegetation Changes,» *Ecologae Geologicae Helvetiae*, vol. 96 (2003), pp. 1-9.

(347) Y. Rosenthal, D.W. Oppo and B. K. Linsley, «The Amplitude and Phasing of Climate Change during the Last Deglaciation in the Sulu Sea, Western Equatorial Pacific,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003), doi, 10.1029/2002GL016612.

كانت أدنى بحوالى درجة واحدة مئوية مما هي اليوم في العصر الجليدي الصغير وأدفأ بدرجة واحدة مئوية من الآن في احترار العصور الوسطى[348]. وقد تأقلمت الحياة في البحيرات، والأزقة البحرية (Fjords)[349]، والمحيطات[350] مع المناخ الأبرد في العصر الجليدي الصغير ومع التغيرات المناخية السريعة. وتظهر ترسبات من بحيرات فوهات بركانية في أوغاندا أنه كان للعصر الجليدي الصغير في أفريقيا عدد من الفترات الباردة والدافئة[351]، وفترات من هطول الأمطار والجفاف الشديدين[352]. وبينما كانت أوروبا باردةً وممطرة، كان مركز أفريقيا الاستوائي بارداً وجافاً. وتمتعت جنوب أميركا بمناخ متقلب أبرد وأجف في العصر الجليدي الصغير[353].

كان هناك عشرة انفجارات من فوهات لاكي (إيرلندا) بين حزيران/يونيو 1783 وشباط/فبراير 1784، في ذروة العصر الجليدي الصغير. ولم تكن أوروبا مغطاة بضباب جاف من حمض الكبريتيك كنتيجة فحسب، بل كان هناك مزيد من الابتراد وخراب للحياة النباتية[354][355][356]. وأحدثت هذه الانفجارات

---

(348) L. D. Keigwin, «The Little Ice Age and Medieval Warm Period in the Saragasso Sea,» *Science*, vol. 274 (1996), pp. 1503-1508.

(349) K. G. Jensen [et al.], «Diatom Evidence of Hydrographic Changes and Ice Conditions in Igaliku Fjord, South Greenland, during the Past 1500 Years,» *The Holocene* (2004).

(350) S. J. Lassen [et al.], «Late-Holocene Atlantic Bottom-Water Variability in Igaliku Fjord, South Greenland, Reconstructed from Foraminiferal Faunas,» *The Holocene*, vol. 14 (2004), pp. 165-171.

(351) J. M. Russell, D. Verschuren and H. Eggermont, «Spatial Complexity of «Little Ice Age» Climate in East Africa: Sedimentary Records from Two Crater Lake Basins in Western Uganda,» *The Holocene*, vol. 17 (2007), pp. 183-193.

(352) J. M. Russell and T. C. Johnson, «Little Ice Age Drought in Equatorial Africa: Intertropical Convergence Zone Migrations and El-Niño-Southern Oscillation Variations,» *Geology*, vol. 35 (2007), pp. 21-24.

(353) P. J. Polisaar [et al.], «Solar Modulation of Little Ice Age Climate in the Tropical Andes,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103 (2006), pp. 8937-8942.

(354) J. Grattan, and D. J. Charman,» Non-Climatic Factors and the Environmental Impact of Volcanic Volatiles: Implications of the Laki Fissure Eruption of AD 1783,» *The Holocene*, vol. 4 (1994), pp. 101-106.

(355) G. C. Jacoby, K. W.Workman and R. D. D'Arrigo, «Laki Eruption in 1783, Tree Rings, and Disaster for Northwest Alaska Inuit,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 18 (1999), pp. 1365-1371.

(356) T. Thordarson, and S. Self, «Atmospheric and Environmental Effects of the 1783-1784 Laki Eruption: A Review and Reassessment,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 108 (1999), doi:10.1029/2001JD002042.

مجموعة من الأحداث التي أدت إلى تسجيل مستويات منخفضة من المياه في نهر النيل في أفريقيا. وقد وصلت درجات الحرارة وأنماط هطول الأمطار وذروتها غير العادية عام 1783 ما جعل نسب الأمطار تحت المقدار العادي في معظم مناطق منابع النيل. وكانت أوروبا أبرد، وأظهرت حلقات الأشجار السنوية في ألاسكا وسيبيريا توقفاً في النمو، كما أن النقص في الرياح الموسمية أدى إلى تناقص في الغيوم فوق ساحل أفريقيا، وفي جنوب شبه الجزيرة العربية والهند[357].

وثقت دراسة شُعَب متيد (Vermetid Reefs) في المتوسط خارج ساحل صقلية تاريخ درجات حرارة سطح البحر خلال بضعة قرون ماضية[358]. ويمكن رؤية ماوندر الدنيا واحترار أواخر القرن العشرين بشكل إشارات كيميائية في هذه الشعب الصخرية.

كانت غرينلاند خلال العصر الجليدي الصغير باردةً جداً، وكان القطب الجنوبي دافئاً نسبياً. وكان ذوبان جليد غرينلاند بين عامي 1550 و1700 شائعاً بوجود 8 في المئة من السنين التي شهدت ذوباناً ودرجات حرارة صيف مرتفعة[359]. وعلى الرغم من أن العصر الجليدي كان عالمياً، كان وضع القطب الجنوبي الشاذ جلياً. ومع ذلك، كان العصر الجليدي الصغير يُشعَر به في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية. وأحدث الانتقال من احترار العصور الوسطى إلى العصر الجليدي الصغير حوالى عام 1300 في جنوب المحيط الهادي هيجاناً اجتماعياً[360]، تبعته مجاعات وهجرة وتناقص في عدد السكان[361].

تقدم سجلات السفن تفصيلات يومية عن طقس العصر الجليدي الصغير

---

(357) L. Oman [et al.], «High-Latitude Eruptions Cast Shadow over the African Monsoon and the Flow of the Nile,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), pp. L18711, doi: 10.1029/2006GL027665.

(358) S. Silenzi, F. Antonioli, and R.Chemello, «A New Marker for Sea Surface Temperature Trend during the Last Centuries in Temperate Areas: Vermetid Reef,» *Global and Planetary Change*, vol. 40 (2005), pp. 105-114.

(359) I. Joughun [et al.], «Seasonal Speedup along the Western Flank of the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 320 (2008), pp. 781-783.

(360) Nunn, *Climate, Environment and Society in the Pacific during the Last Millennium.*

(361) Patrick D. Nunn, *Vanished Islands and Hidden Continents of the Pacific* (Honolulu: University of Hawaii Press, 2009).

ومناخه[362][363][364]. وتقدم دراسة عن أكثر من 6000 سجل للسفن تمتد من انتصار نلسن (Nelson's Victory) إلى **رحلات** كوك (Cook's Endeavours)، والفرقاطات أو الحراقات[*] (Frigates) المتواضعة، سجلاً موحداً معاصراً عن قوة الرياح، واتجاهاته والمترسبات وملاحظات عن الطقس. كما بيّنت هذه السجلات معلومات عن ضغط الهواء، ودرجة حرارة الهواء ودرجة سطح البحر. وأظهرت أن ثمانينيات وتسعينيات القرن السابع عشر كانت الأبرد في ألف عام، وأن العواصف كانت تشتد في الصيف[365]، وكانت هذه في ماوندر الدنيا (1645 ـ 1715).

كان الاعتقاد شائعاً أن الأعاصير التي تتكون في شرق المحيط الأطلسي تنحدر غرباً. وكانت مفاجأةً، عندما انتقل إعصار فنس عام 2005 إلى الشمال الشرقي وضرب جنوب إسبانيا والبرتغال. وكان هذا، لكثير من الناس، دليلاً لظروف الطقس غير العادية مستمداً من بعث الإنسان لـ CO_2. غير أن الإعصار نفسه حدث في عام 1842، قبل الانبعاثات الصناعية للـ CO_2. وإن سجلات السفن البحرية الملكية الـ 100,000 الموثقة للفترة من عام 1670 إلى عام 1850 قدمت ثروة من المعلومات، فضلاً عن 900 سجل لسفن من شركة الهند الشرقية (East India Company) غطت الفترة ما بين عامي 1780 و1840.

ويمكن لكل هذا أن يقدم منظوراً عالمياً (على سبيل المثال، بعثتا روبرت فتزروي (Robert Fitzroy) في (HMS Beagle) في عشرينيات وثلاثينيات القرن التاسع عشر مع تشارلز داروين)، ومعلومات عن القطب الشمالي، والهند الشرقية والغربية والبحر الأبيض المتوسط (رحلات هوراسيو نيلسون (Horatio Nelson Voyages) ومعلومات عن المحيط الهادي (الكابتن) جيمس كوك في ستينيات وسبعينيات القرن الثامن عشر).

---

(362) D. Wheeler, «The Weather of the European Atlantic Seabord during October, 1805: An Exercise in Historical Climatology,» *Climate Change*, vol. 48 (2001), pp. 361-365.

(363) S. D. Woodruff [et al.], «Early Ship Observational Data and ICOADS,» *Climate Change*, vol. 73 (2005), pp. 169-194.

(364) R. Garcia-Herrera [et al.], «CLIWOC: A Climatological Database for the World's Oceans 1750-1854,» *Climate Change*, vol. 73 (2005), pp. 1-12.

(*) الحراقات: سفن حربية شراعية.

(365) D. Wheeler and J. Suarez-Dominguez, «Climatic Reconstructions for the Northeast Atlantic Region AD 1685-1700: A New Source of Evidence from Naval Logbooks,» *The Holocene*, vol. 16 (2006), pp. 39-49.

كان العصر الجليدي الصغير عنيفاً، وعالمياً، وتغيرت الظروف من الدفء اللطيف إلى البرد القارس خلال عقدين فقط. وقد ابتدأ هذا التغير المناخي الدراماتيكي بتغيرات في النشاط الشمسي، فكانت أبرد الفترات في العصر الجليدي الصغير عندما كانت الشمس غير نشيطة نسبياً (انظر الفصل الثالث).

جلب العصر الجليدي الصغير مجاعات، وأمراضاً، وموتاً، وتناقصاً في عدد السكان، وحروباً وتفككاً اجتماعياً. وكذلك فعل الابتراد والعصور المظلمة السابقة، الشيء ذاته. وهناك علاقة في أوروبا خلال السنين الألف الأخيرة بين الصراع العنيف، والطقس البارد، والمترسبات[366][367]. فالأزمنة الباردة تأتي بالعنف، والحروب، وتناقص عدد السكان والبؤس الإنساني.

احترار أواخر القرن العشرين (1850 إلى الحاضر)

تتعافى الأرض من العصر الجليدي الصغير. وقد انتهى لتوه احترار أواخر القرن العشرين. وأظهر تحليل لـ 102 دراسة علمية لاحترار أواخر القرن العشرين أن 78 في المئة من الدراسات وجدت أن فترات أبكر امتدت خمسين عاماً كانت أدفأ من أي فترة في القرن العشرين. وقد نصّت ثلاث دراسات على أن القرن العشرين كان القرن الأدفأ، وقومت أربع دراسات القسم الأول من القرن العشرين، قبل أن يبعث الإنسان كثيراً من الـ CO_2 في الهواء، باعتباره أدفأ مرحلة من القرن العشرين. وعليه، لم يكن احترار أواخر القرن العشرين أمراً غير عادي.

لم يكن أواخر القرن العشرين فترةً من الاحترار الثابت، كما هو الحال في تغيرات مناخية سابقة. وتبيّن الدلائل أن المحرك الأوّلي هو التغير في النشاط الشمسي (انظر الفصل الثالث)، كما هو الحال مع تغيرات مناخية سابقة. كان هناك احترار من عام 1850 إلى عام 1940، وابتراد بين عامي 1940 ـ 1976، تلاه احترار بين 1976 ـ 1998، ثم ابتراد منذ عام 1998.

إن دلائل التاريخ والآركيولوجيا والعلوم مذهلة، فهي تُظهِر تغيرات

(366) D. D. Zhang, «Global Climate Change, War, and Population Decline in Recent History,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 4 (2007), pp. 19214-19219.

(367) R. S. J. Tol, «Climate Change and Violent Conflict in Europe over the Last Millennium,» (2008) <http://ideas.repec.org/p/sgc/wpaper/154.html>.

جوهرية في المناخ خلال الـ 130,000 عام الماضية. وإن كثيراً من هذه التغيرات دوري ومتزامن مع الدورات الشمسية. هذه التغيرات سريعة. كما أن الدلائل من الجيولوجيا مذهلة أيضاً. ومنذ انفجار الحياة متعددة الخلايا (قبل 542 مليون عام)، كانت هناك أزمنة كانت فيها الأرض أبرد وأدفأ من الآن. وتشمل أيضاً أزمنةً كان فيها CO_2 الجوي أعلى بكثير من الآن. وإن سجلات الحساسية المناخية مبنية على قياسات من بضعة عقود إلى آلاف السنين الماضية عندما كانت مستويات CO_2 ودرجات حرارته مشابهة لليوم أو أدنى. وربما رفعت الزيادات في درجات الحرارة الجوية في الماضي، وارتفاع CO_2 الجوي معدل التجوية (Weathering) [أثر العوامل الجوية في لون الأشياء المعرضة لها أو في تركيبها أو شكلها وبخاصة تحلل التربة والصخور الطبيعي والكيميائي] للمعادن السليكية على سطح الأرض. والتجوية المتزايدة تزيد من استهلاك المعادن للـ H_2O وCO_2، وبالتالي تزيل CO_2 من الجو (تغذية راجعة سلبية).

وبغضّ النظر عن نظرتنا إلى المناخ من منظار تاريخي، أو آركيولوجي، أو زمن جيولوجي، فإن الحساسية المناخية الأكثر من 1.5 درجة مئوية ميزة قوية في نظام مناخ الأرض خلال الـ 420 مليون عام الماضية[368].

فإذا تم الاعتراف بأن كانت هناك تغيرات مناخية كبيرة وسريعة قبل عصر التصنيع، فإن بعث الإنسان لـ CO_2 لا يمكن أن يكون المحرك الرئيسي لتغير المناخ. وإن الدلائل المعضدة لذلك مذهلة حتى أن آلية أخرى أو عدداً من الآليات تحرك تغير المناخ، منها تغيرات النشاط الشمسي، والطاقة الكونية الشعاعية، والعمليات الأرضية والمدارية. وإذا كانت الحال كذلك، فإن الغرض الكلي للـ IPCC اللجنة الدولية للأمم المتحدة من أجل تغير المناخ لن يكون موجوداً.

وبعد كل هذا وذاك حاولت ورقة علمية غير معروفة[369] أن تعيد كتابة سجل المناخ، تاركةً العصر الجليدي الصغير الأخرق واحترار العصور الوسطى جانباً، معتبرة أن CO_2 هو العامل المحرك الوحيد للتغيير المناخي.

---

(368) D. L. Royer, R. A. Berner and J. Park, «Climate Sensitivity Constrained by CO2 Concentrations Over the Past 420 Million Years,» *Nature*, vol. 446 (2007), pp. 530-532.

(369) M. E. Mann, R. S. Bradley and M. K. Hughes, «Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries,» *Nature*, vol. 392 (1998), pp. 779-787.

القصة الطويلة للصنوبر المنعزل[370]

لا يبرر ضعف الاحترار الروماني، واحترار العصور المظلمة، والعصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير تلك الحوارات التي تدعم النظرية القائلة إن الإنسان هو سبب الاحترار الكوني. ذلك أن المناخات الأكثر دفئاً من احترار أواخر القرن العشرين كانت موجودة قبل التصنيع وانبعاثات CO_2 الصناعية. إن الفكرة القائلة إن تغير المناخ مرتبط فقط بالنشاط البشري مع تغذيات راجعة من الجو والمحيطات المعروفة هو تفسير بسيط وخاطئ للمناخ الحديث والقديم. والقول إن المناخ المعاصر تحركه تغيرات طفيفة من غاز (CO_2) في الجو يتطلب قفزات غير علمية كثيرة لمجرد الاعتقاد. ويبدو أن التاريخ تعاد كتابته بشكل عام لأسباب شنيعة، وهذا تماماً ما حدث مع دورات المناخ خلال الـ 2000 عام الماضية[371].

لقد ظهر رسم بياني[*] للألف سنة الماضية يبيّن درجات حرارة الأرض من خلال حلقات الأشجار السنوية، ولب الجليد ودرجات الحرارة احترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير، واحترار أواخر القرن العشرين، في التقويم الثاني لـ IPCC موجز لصانعي السياسة عام 1996.

وعلى الرغم من أننا قد ذكرنا أهمية إدخال العوامل التي تساعدنا على معرفة الحرارة (حلقات نمو الأشجار، لب الجليد) مع قياسات درجات الحرارة (وجميع حدود هذه القياسات)، فقد بيّن لنا الرسم ما عرفناه من التاريخ.

وبعد خمس سنوات، قَدم تقرير (International Panel Of Climate Change (IPCC)) عن تغير المناخ رسماً بيانياً مختلفاً تماماً للسنين الألف الماضية عن درجات حرارة الأرض. وقد تم محو احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير من الرسم البياني، فيما كان التركيز قد انصب على احترار 1915 وما بعده. وكان لهذا الرسم الذي يشبه عصا الهوكي، وقع مرئي رائع، وما تضمنه أن سبب ارتفاع درجات الحرارة السريعة في القرن العشرين، كان التصنيع. أما

---

(370) لمعلومات متماسكة وكاملة عن قضية «هوكي ستيكي»، هناك سلسلة من المحطات الموضحة على الموقع الإلكتروني <http://www.climateaudit.org>.

(371) R. S. Bradley, «Climate in Medieval Time,» *Science*, vol. 302 (2003), pp. 404-405.

(*) رسم بياني نشرته IPCC ضمن نشرة بعنوان: IPCC Second Assessment Summary of Policymakers in 1996.

تقرير هيئة الأمم المتحدة لتغير المناخ IPCC التالي فقد حذفت منه «عصا الهوكي» إياها من دون أي شرح أو تفسير.

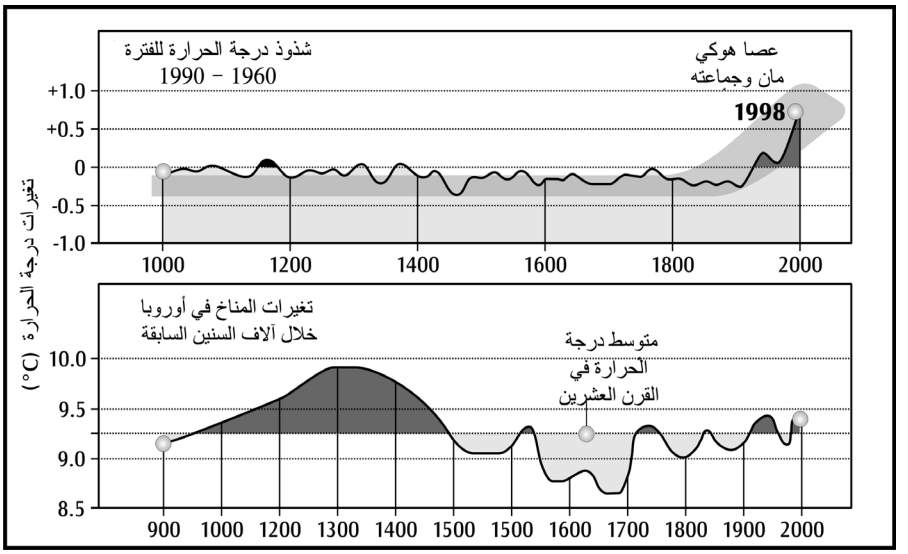
إن رسم «عصا الهوكي البياني» هذا مستمد من دراسة أجراها في عام 1998 مايكل مان (Michael Mann) وزملاؤه[372]. وكان مان وقتئذ قد تخرج حديثاً فجلبت له هذه الدراسة الشهرة، والحظ، والمقام العالي. وأصبح في سن مبكرة، محرراً لدورية علمية رئيسية[373]، ليصبح بعدها مؤلفاً قيادياً في IPCC. وهكذا أصبح مان بطلاً، مجاهداً من قبل الإعلام. ومن الجدير تقويم دراسته نقدياً. فقد استعمل مان في الفترة بين عامي 1000 و1980 بيانات حلقات الأشجار كدليل على الحرارة. وهذا يَفترض أن الأشجار تنمو في الأزمنة الدافئة بسرعة أكثر من الأزمنة الباردة. أضيف إلى بيانات الأشجار قياسات درجات الحرارة، بشكل رئيسي في مناطق مدينية، لتغطية الفترة بعد عام 1908. وكان حذف احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير مناقضاً لألوف السجلات التاريخية والدراسات العلمية، ومع ذلك حذفت على أساس أنها غير معنوية في دراسة مان. وكان تقرير IPCC لتغير المناخ عام 2001 (المقطع 2.3.3 «هل كان هناك «عصر جليدي صغير» و«احترار كوني في العصور الوسطى؟»») قد حدد احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير بتغيرات طفيفة جداً حدثت فقط في منطقة شمال الأطلسي، واقترحت أن سببها، أنماط مبدلة قليلاً من الدورة الجوية.

قبلت IPCC من دون نقد «عصا الهوكي» ورفضت، من دون شرح، ألوف الدراسات العلمية عن احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير. وهكذا حذف احترار العصور الوسطى، فقد كان مدعاة للإزعاج. كما خفض أثر العصر الجليدي الصغير بشدة وعزي للدورة الكونية «المقبضة». وإنني واثق من أن ملايين الناس الذين ماتوا من البرد أو المجاعات التي سببها البرد في العصر الجليدي الصغير كانوا سينامون قريري العين بعد هذه التفسيرات. ثم ادعت IPCC أن احتراراً، كان هناك، لا سابق له في القرن العشرين. وقد أظهرته «عصا الهوكي». واستعملت IPCC «عصا الهوكي» في الصفحة الأولى **لموجز**

(372) M. E. Mann, R. S. Bradley and M. K. Hughes, «Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing over the Past Six Centuries,» *Nature*, vol. 392 (1998), pp. 779-787.

(373) *The Journal of Climate.*

صانعي السياسة أربع مرات، وشغلت به في مواقع أخرى نصف صفحة. ويبدو واضحاً أن IPCC أقرت «بعصا الهوكي». ويذكر أن «عصا الهوكي» التابعة لمان قد استشهد بها في تقرير للحكومة الأميركية[374].



الشكل 11: (الرسم البياني الأعلى) مان و«عصا الهوكي» الذي لا يُسجل احترار العصور الوسطى (900 ـ 1280) ولا العصر الجليدي الصغير (1300 ـ 1850) غير أنه يبين احتراراً مفاجئاً في القرن العشرين. ونقيضاً لذلك، يظهر تاريخ درجات الحرارة للسنوات الألف الماضية المستمد من مئات الدارسات احترار العصور الوسطى، والبرد الشديد للعصر الجليدي الصغير (مع نبضات دافئة لم تدم طويلاً) واحترار أواخر القرن العشرين. ولم تكن «عصا الهوكي» التابعة لمان متوافقة مع مئات من الدراسات السابقة المثبتة، ولكنها أخفقت في تبيان اختلافها. وكانت «عصا الهوكي» أيقونة IPCC.

تكمن منهجية العلوم في أن البيانات الجديدة والاستنتاجات الناتجة تحلل نقدياً، وتعاد، وتنقى أو ترفض. وكان الرسم البياني لـ «عصا الهوكي» مناقضاً للاستنتاجات المستمدة من ألوف الدراسات التي تستعمل حفر السبر في الجليد، والبحيرات، والأنهار والمحيطات، والمترسبات الجليدية، وترسبات

(374) التقويم الوطني الأميركي للتبعات الكامنة لتغير المناخ واختلافه 2000.

الفيضانات، وبيانات مستوى سطح البحر، والتربة، والبراكين، والرياح التي تذري الرمال والنظائر، وغبار الطلع، والخث، وترسبات الكهف، والزراعة والسجلات المعاصرة. فعندما تتم استنتاجات غير عادية، يكون هناك حاجة إلى بيانات غير عادية لدعمها.

هذا ما حصل تماماً في دراسة مان، التي دحضت بناءً على الإحصاءات[375]. ويذكر أن رجلين كنديين هما، ستيفن ماكينتاير (Steven McIntyre) وروس ماكيتريك (Ross McKitrick)، طلبا من مان البيانات الأصلية التي تدعم دراسته. وكان ذلك شبيهاً باقتلاع الأسنان. وبعد كثير من التبجح، ومحاولة الإعاقة بالاختباء خلف ستار السرية، قدمت البيانات بالتقتير. ثم قدمت البيانات الأصلية بعد أن قدم لها بأنها تحتاج إلى التأكيد والإعادة، وهي عملية طبيعية في العلوم، غير المكتملة. وكان على البيانات، قانونياً، أن تتوفر لأن المال الفيدرالي الأميركي استعمل لدعم دراسة مان. وربما لا يكون الحصول على البيانات الأولية للأبحاث التي تدعمها الحكومة في سلطات قضائية أخرى ممكناً.

بدا واضحاً أنه لم يطلب أي مراجع لورقة مان وزملائه في مجلة (*Nature*) البيانات الأصلية التي بنيت عليها الورقة علمياً، فلو حصل ذلك لما نشرت الدورية ورقةً تستعمل بيانات غير مكتملة. وليس هذا هو مكان التفكر إن كانت تلك زلة في معايير التحرير، أو إن كانت الدورية تتبع برنامجاً آخر. غير أنه يجب لاستنتاجات غير عادية ولصرف ألوف من الدراسات العلمية السابقة عن احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير أن تكون قد حفزت المراجعين **للمجلة** ومحرريها أن يروا البيانات والحسابات الأولية كجزء طبيعي من الاجتهاد العلمي المطلوب.

اكتشف ماكينتاير وماكيتريك أن بيانات مان لم تأت بالنتائج المدعاة:

«بسبب اختلاط الأخطاء، والاستنتاجات والاستقراءات غير المبررة لبيانات المصدر، والبيانات القديمة، وأخطاء المواقع الجغرافية، والحساب غير الصحيح للمركبات الرئيسية وغيرها من علل التحكم في الجودة..».

(375) S. McIntyre and R. McKitrick, «Corrections to the Mann et al. Proxy Data Base and Northern Hemisphere Temperature Series, 1998,» *Energy and Environment*, vol. 14 (2003), pp. 751-771.

هذا وقد استعملت IPCC الرسم البياني لمان عام 2001 كأداة محورية في تبيان أن الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان بدأ في القرن العشرين. وبدا واضحاً أن بيانات مان التي استُعملت لبناء: «عصا الهوكي» كانت من دون معنى، ولم يتّخذ المؤلفون والمراجعون والمحررون ما يكفي من المثابرة في دراسة هذه الورقة وتحليلها.

وباستعمال بيانات مان نفسه، بيّن ماكينتاير (Mc Intyre) وماكيتريك (Mc Kitrick) أن الاحترار في أوائل القرن الخامس عشر يفوق أي احترار في القرن العشرين. وأظهر هذان العالمان أن دراسة مان قد أعطت ثقلاً كبيراً لبيانات حلقات أشجار القرن العشرين المأخوذة من جبال سييرا نيفادا في كاليفورنيا. هذا وقد جمع هذه البيانات أشخاص آخرون، ولكنها لم تقارن بقياسات الحرارة التي كانت متاحة لتلك المنطقة، إنما قورنت بقياسات حرارة في مناطق مدينية. وكانت الأشجار المستعملة في الدراسة قديمة، وبطيئة النمو، وهي أشجار الصنوبر الأهلب العالية، التي يمكن أن تعيش 5000 عام، وبالتالي فهي مثالية لدراسات المناخ. ولقد أظهرت هذه الأشجار نمواً نشيطاً بعد عام 1910. وقد استعمل مان البحث في أشجار الصنوبر الأهلب[376] لتبيان أن درجة الحرارة بدأت بالازدياد عام 1910. ولكن الورقة الأصلية التي استعملها لم تظهر فقط أن دلائل حلقات نمو الأشجار على درجة الحرارة يجب استعمالها بحذر، بل أظهرت أنه لا يمكن شرح بيانات حلقات نوع معين من شجر الصنوبر (الأهلب) (Bristlecone) التي تظهر نمواً نشيطاً بعد 1910 بتغير درجة حرارة محلية أو إقليمية. وقد تجاهل مان ذلك.

يكمن تفسير النمو النشيط في أن أشجار هذا النوع من الصنوبر الأهلب تنمو ضمن حدود الرطوبة والخصوبة عند الارتفاع على خطوط العرض. وتظهر بالتالي استجابات قوية لتخصيب الـ CO_2. وكانت هذه هي فكرة دراسة أشجار الصنوبر. ولا يمكن لمان أن تفوته هذه الفكرة، لأنها عنوان الورقة التي استمد منها البيانات النقدية لإظهار ارتفاع درجة الحرارة بعد عام 1910.

أصدر مان وزملاؤه[377] «تصحيحاً» لاحقاً اعترف بأن بياناته الدلالية

(376) D. A. Graybill and S. B. Idso, «Detecting the Aerial Fertilization Affect of Atmospheric CO_2 Enrichment in Tree Ring Chronologies,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 7 (1993), pp. 81-95.

(377) M. Mann, R. S. Bradley and M. K. Hughes, «Corrigendum: Global-Scale Temperature Patterns and Climate Forcing Over the Past Six Centuries,» *Nature*, vol. 430 (2004), p. 105.

احتوت بعض الأخطاء. غير أن أيّاً من هذه الأخطاء لا يؤثر في نتائجهم المنشورة من قبل. وهذا يعني أن مان كان سعيداً لنشر عمل إما لم يراجعه، أو كان يعرف أنه على خطأ. ولم يكن قادراً على المناقشة المضادة لإحصاءات «ماكينتاير وماكيتريك»، غير مستعد لها، وأعلن بطريقة مؤكدة أنه كان على صواب. ولم يطرح القضية القائلة إن نمو نوع شجر الصنوبر هذا، ومجموعة بياناته الرئيسية لـ «عصا الهوكي» ليس لها علاقة بدرجة الحرارة.

لقد قدم رسم «عصا الهوكي» البياني الذي استعملته IPCC رسالةً مضللةً جداً إلى الجمهور. وأظهر تقرير IPCC إضافةً إلى ذلك، احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير. واستعملت «عصا الهوكي» لمان في تقرير IPCC في عام 2001[378] بعد حذف احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير من تقرير المناخات الحديثة. وأعيد ظهور احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير بطريقة غامضة في تقرير IPCC التالي.

يقترح هذا الأمر أن IPCC عرفت أن «عصا الهوكي» غير صالحة، وأن هذا شجب مدمر للـ IPCC، التي استعملت «عصا الهوكي» ستارة خلفية لإعلانات عن تغير المناخ الذي يسببه الإنسان[379]، ولايزال آل غور (Al Gore) يستعمله، ولا يزال يستعمل كذلك في المناقشات، وعلى مواقع الإنترنت وفي منشورات أولئك الذين يدعون أن العالم يزداد احتراراً بسبب النشاط البشري. وهل قيل لأي من هؤلاء الذين يرون هذا الرسم البياني إن البيانات قبل عام 1421 ميلادية كانت مبنيةً على شجرة صنوبر شاهقة واحدة وحيدة؟

لم يبرز مان جميع بياناته وحساباته لماكينتاير ومكيتريك، وأعلن للعامة أنه سوف لن يُكرَه على كشف سر الألغوريتم (Algorithm) الذي حصل على نتائجه بواسطته. وهذا ما جذب اهتمام لجنة بيت الطاقة الأميركي وهيئة التجارة[380]. وقرأ أعضاؤها مقالات ماكينتاير وماكيتريك وأصبحوا مهتمين بالادعاءات القائلة إن مان حجب نتائج إحصائية معاكسة لما نشره، وأن نتائجه اعتمدت على عرض حلقات نوع من أشجار الصنوبر الأهلب، المعروفة بكونها موضع

(378) *IPCC Climate Change: The Scientific Basis* (2001), figure 2.20.

(379) كانت الصورة الأولى في : ، *U. S. National Assessment of the Potential Consequences of Climate Variability* (2000).

(380) <http://energycommerce.house.gov/108/home/07142006_Wegman_fact_sheet.pdf>.

استفهام كقياس لدرجة الحرارة. وأرسلوا في حزيران/يونيو 2005 أسئلةً إلى مان والمؤلفين الذي اشتركوا معه، حول التحقق من بعض الإحصاءات، وعن أشجار الصنوبر الأهلب المستخدمة في دراسته. وسألوا مان كذلك عن الألغوريتم الذي استعمله، كما سألوا أسئلةً شكلية عن الاعتمادات المالية الفيدرالية التي استعملت في هذه الدراسة. وسبّب ذلك هجوماً عاصفاً في الصحافة مع ادعاءات بالإكراه. كما وغضبت شريحة متعلمة من ذلك، في حين لم يكن أي منها يشعر بالإهانة عندما رفض مان أن يكشف علناً عن نتائجه عندما فاتحته لجنة من الكونغرس (تمثل دافعي الضرائب الذين دفعوا للنتائج) للتعرف على الطريقة التي استمد منها نتائجه.

بدأ عندئذ نوع من الحرب غير المعلنة. وشعرت لجنة العلوم في الكونغرس أن سلطتها التشريعية قد اعتدي عليها. وبعد بضعة أشهر من المعركة، سألت لجنة علوم الكونغرس الأكاديمية الوطنية للعلوم ((NAS)) أن تقوّم الانتقادات الموجهة لعمل مان، والقضية الأكبر في إعادة بناء بيانات المناخ التاريخي. ووافقت الأكاديمية وإنما تحت الشروط التي تَحول دون تحقيق مباشر للقضايا التي حثّت على النقاش الأصلي ـ إن كان مان قد احتفظ بالنتائج المعاكسة لنفسه، وإن كانت البيانات والمعلومات النموذجية الأساسية للرد متوفرة.

لم يُدحض أي ادعاء لماكينتاير وماكيتريك في استماعات اجتماع الأكاديمية في آذار/مارس 2006. غير أن الأكاديمية أصدرت بياناً صحفياً[381] في الثاني والعشرين من حزيران/يونيو 2006 يقول:

«**هناك أدلة كافية من حلقات الأشجار، وحفر السبر، والتجلدات المتراجعة، وغيرها من أدلة عن درجات الحرارة القديمة لسطح الكوكب لنقول بدرجة عالية من الثقة، إن بضعة عقود ماضية من القرن العشرين كانت أدفأ من أي فترة مشابهة خلال 400 عام مضت**».

ولكن ما لم يذكر هو أن كوكب الأرض كان في قبضة العصر الجليدي الصغير قبل 400 عام، وأن لا شيء يدعو إلى المفاجأة بأن درجة الحرارة ازدادت عندما انتهى ذلك العصر. ويمكن لعبارة الأكاديمية الوطنية للعلوم أن

(381) <http://www.nationalacademies.org/oninews/newsitem.aspx?RecordID=11676>.

تكون مضللةً جداً لعامة الجمهور، عندما اقترح التقرير أن قياسات لدرجة الحرارة تعود إلى 150 عاماً خلت، وبالتالي فإن دلائل أخرى مثل المرجان وترسبات البحيرات والمحيطات، ولب الجليد، وترسبات الكهوف، ومصادر وثائقية مثل رسومات الكهوف يجب استعمالها. كما يذكر التقرير أن الاحترار المتوسط العالمي بمقدار 0.6 درجة مئوية ينعكس في الأدلة، ولكنه لا يذكر أن متوسط درجة الحرارة العالمي قد ارتفع وانخفض خلال السنين الـ 150 الماضية. وما لم يذكر أيضاً هو أنه يجب استعمال الدلائل بحذر شديد، وهناك حدود مثل أي نموذج علمي. وإن حلقات الأشجار تستعمل كثيراً للدلالة على مناخات قديمة. غير أن هناك اختلافاً كبيراً في الاستجابات لتغير المناخ عندما تستخدم الأشجار الحديثة. وربما كانت دراسات أحفوري حلقات الأشجار غير كافية للتمييز بين علامة مناخ قديم وخلفية الاختلاف[382]، فهناك حاجة إلى حذر شديد في التعبير عند استعمال دلائل حلقات نمو الأشجار، إلا إذا وجدت دراسات عن المناخ القديم متعلقة بها وموثقة جيداً. ولم يمارس مان وزملاؤه هذا الحذر، كما لم يكن هناك حذر عبّرت عنه الأكاديمية الوطنية للعلوم.

غير أن الشيطان يكمن في التفاصيل، وإن الدراسات المستخدمة للوصول إلى هذا الاستنتاج عانت مشاكل البيانات والطرائق التي استخرجها مان والتي اعترفت بها هيئة NAS لكي تقول بأن أبحاث مان وجماعته كانت كما يقال، وإن بيان الأكاديمية الصحفي مختلف جداً عمّا هو داخل التقرير. فالتقرير يسلم بأن كل نقد لعمل مان كان مؤسس جيداً ولا يتوافق مع إحصاءات مان في تغيرات درجة الحرارة خلال عقود، وبخاصة في السنين المنفردة. وتستنتج لجنة الأكاديمية أن ما يلي جدير بالتصديق:

«كان النصف الشمالي من الكرة الأرضية أدفأ خلال بضعة عقود مضت من القرن العشرين، مما كان عليه في أي فترة مشابهة خلال الألفية الماضية».

مرةً أخرى، يكمن الشيطان في التفاصيل، فعانت الدراسات المستعلمة للوصول إلى هذا الاستنتاج المشكلات المنهجية والبيانية ذاتها التي عند مان، والتي سلمت بها لجنة الأكاديمية الوطنية للعلوم. وخلال الغليان السياسي، لم

(382) H. J. Falcon-Lang, «Global Climate Analysis of Growth Rings in Woods, and its Implications for Deep-Time Palaeoclimate Studies,» *Paleobiology*, vol. 31 (2006), pp. 434-444.

يكن ممكناً سياسياً أن تقول لجنة الأكاديمية إن أوراق مان كانت مخادعة، أو خاطئة أو منحازة. فهذا سيحرج IPCC. غير أن التقرير المفصل للأكاديمية بيّن نقداً شاملاً لمنهجية مان ويقول: «إن بعض هذا الانتقاد يتعلق بجزئيات من الموضوع أكثر من غيرها، ولكنه بمجمله يعني مفاهيم مهمة من اكتشاف عام حققته هذه اللجنة، وهو أن الشك في ما قد نشر من إعادة تشكيل قد أسيئ تقديره». وعيّنت لجنة الطاقة والتجارة في الكونغرس فريقاً بارزاً من الإحصائيين قاده الدكتور إدوارد وغمان (Dr. Edward Wegman) للتحقيق[383]. وقد ثبتت استنتاجات تحقيق وغمان بتحليل إحصائي مستقل لبيانات مان[384]. وكان لهذه اللجنة بعض العبارات المشوقة عن منشورات مان[385].

من المهم أن نذكر عزل مجموعة المناخ القديم (Poleoclimate community)، فعلى الرغم من أنهم يعتمدون جداً على نماذج إحصائية إلاّ أنهم

---

(383) لجنة الكونغرس الأميركي عن الطاقة والتجارة: <http://republicans.energycommerce.house.gov/108/home/07142006_Wegman_Report.pdf>.

(384) G.R. North, and NRC, *Committee on Surface Temperature Reconstructions for the Last 2,000 Years* (National Research Council, National Academies Press, 2006).

(385) الموجز التنفيذي:

إن رئيس مجلس إدارة لجنة الطاقة والتجارة ورئيس مجلس إدارة اللجنة الفرعية للمراقبة والتحقيق اهتما بإثبات مستقبل لانتقادات ورقة «مان» (1998 و1999) [MBH98, MBH] من قبل «ماكينتاير» و«ماكيتريك» (2003، 2005أ، 2005ب) [MM03,MM05a,MM05b] بالإضافة إلى المضمونات المتعلقة بالتقويم. وكانت الاستنتاجات من MBH98 وMBH99 موجودة في الهيئة داخل الحكومية عن تغير المناخ بتقرير اسمه **تغير المناخ 2001: الأساس العلمي**. ويعنى هذا التقرير بارتفاع درجات الحرارة العالمية، وبخاصة خلال تسعينيات القرن العشرين. وتركز ورقتا MBH98 وMBH99 على إعادة بناء درجة حرارة المناخ القديم وتركز الاستنتاجات على ما يبدو أنه ارتفاع سريع في درجة الحرارة العالمية خلال تسعينيات القرن العشرين عند مقارنتها بدرجات حرارة لألفية سابقة. وولدت هذه الاستنتاجات نقاشاً شديد الحدة عن مضمونات سياسة MBH98 وMBH99 عن طبيعة تغير المناخ العالمي، أو إن كانت الأفعال الأنثروبوجينية هي المصدر أم لا. وهذه اللجنة المؤلفة من إدواررد وغمان (Edward Wegman) (جامعة جورج ميسون) ودايفد سكوت (David W. Scott) (جامعة رايس) وياسمين هـ. سعيد (Yasmin H. Said) (جامعة جونز هوبكنز) قد راجعت المقالين، بالإضافة إلى شبكة من مقالات دورية متعلقة بالمؤلفين أو بالموضوع، ووصلت إلى استنتاجات ونصائح متعددة. وعملت هذه اللجنة الخاصة للمصلحة العامة، فلم تستلم تعويضات وليس لديها اهتمام مالي في نتيجة التقرير.

توصيات

التوصية الأولى: عندما يتعلق الأمر بمصير كميات من الأموال العامة وحياة البشر، ينبغي أن يكون للعمل الأكاديمي مستوى أكثر كثافةً من التفحص والمراجعة. وهذه هي الحال بخاصة أنه ينبغي ألا يكون واضعو التقارير التي تتعلق بالسياسة مثل تقرير IPCC، و**تغير المناخ 2001: الأساس العلمي** هم أنفسهم الذين يكتبون الأوراق الأكاديمية.

التوصية الثانية: إننا نعتقد أنه ينبغي لوكالات الأبحاث الممولة فدرالياً أن تطور سياسة شاملة وموجزةً =

لا يتفاعلون مع المجموعة الإحصائية (Statistical community). إضافةً إلى ذلك، إننا نحكم بأن تقاسم مواد البحث، والبيانات والنتائج قد تم عشوائياً وبتذمر. ونحكم في هذا الحال أنه كان هناك اعتماد شديد على طريقة المراجعة السريعة (peer review) التي لم تكن بالضرورة مستقلة. إضافةً إلى ذلك، تم تسييس العمل بما فيه الكفاية حتى إنه يصعب على هذه اللجنة إعادة تقويم مواقعهم العامة من دون أن يفقدوا المصداقية. وبشكل عام، تعتقد لجنتنا أن تقويمات الدكتور مان بأن عقد تسعينيات القرن العشرين كان أدفأ عقد في الألفية، وأن عام 1998 كان أدفأ عام في الألفية، لا يمكن دعمها بتحليلاته[386].

ويبدو أن التواصل بعلوم مان يتم بضعف.

إن أوراق مان وزملائه مكتوبة بطريقة مربكة، مما يجعل الأمر صعباً على القارئ أن يتبين المنهجية الفعلية وما هو الشك المتعلق فعلاً مع إعادات البناء. ولم تقدم مصطلحات غامضة مثل «التأكد المعتدل» أي إرشادات للقارئ عن مدى أهمية استنتاجات كهذه. وبينما لم يكن هناك مواقع على الإنترنت إضافية للأعمال، فإنها اعتمدت بشدة على قدرة القارئ على جمع العمل والمنهجية من بيانات مجردة. وإن هذا أمر مشوش بخاصة عندما يقال إن اكتشافات من هذا النوع لها أثر عالمي، بناء عليه فإن عدداً قليلاً من الناس يستطيع فهمه. إذاً

= أكثر في الكشف. وجميعنا الذين يكتبون هذه التقرير قد مُوِّلوا فدرالياً. وكانت خبرتنا مع وكالات التمويل هي أنهم لا يوضحون الإرشادات للمحققين عمّا ينبغي كشفه.

ينبغي للعمل المموّل فدرالياً بما فيه المدوّنة أن يكون متوفراً للباحثين الآخرين عند الطلب المعقول، وبخاصة إن لم يكن للملكية الفكرية قيمةً تجارية. وينبغي إعطاء بعض الاعتبار لمجمعي البيانات ليكون لهم استعمال خاص لبياناتهم لسنة أو سنتين، قبل النشر. ولكنه ينبغي للبيانات المجمعة تحت الدعم الفدرالي أن تكون متوفرة للعامة. (كما تفعل وكالات فدرالية مثل ناسا NASA).

التوصية الثالثة: من المتوقع أن يكون هناك مراجعة واستشارات مع الإحصائيين للتجارب التحليلية والسريرية للأدوية والأدوات لتوافق عليها الـ FDA للاستعمال الإنساني. بالطبع إن شمل الإحصائيين في عمليات التقديم للموافقة ممارسة متبعة. كما إننا نحكم على ذلك بأنها سياسة جيدة عندما تتعلق بالصحة العامة وكميات الأموال الأساسية، على سبيل المثال، عندما تكون هناك قرارات سياسية رئيسية يجب أن تتخذ بناءً على تقويمات إحصائية. وينبغي أن يكون تقويم الإحصائيين ممارسةً معيارية في حالات كهذه. كما ينبغي لمرحلة التقويم هذه أن تكون جزءاً إلزامياً لجميع التطبيقات الموافق عليها وأن يتم تمويلها حسب ذلك.

التوصية الرابعة: ينبغي التركيز على التمويل الفدرالي للأبحاث المتعلقة بالفهم الأساسي لآليات تغير المناخ. وينبغي أن يركز التمويل على فرق متداخلة المجالات، وأن يتم اجتناب أبحاث المجال ضيق التركيز.

(386) <http://www.climateaudit.org>, and <http://scienceandpublicpolicy.rg/Monckton/what_hockey-stick.html>.

ليس من المفاجئ أن يدعي مان سوء فهم ماكينتاير وماكيتريك لعمله.

يصف مان وزملاؤه في عملهم الأسباب المحتملة لتغير المناخ العالمي من حيث القوى الجوية، مثل القوى الأنثروبوجينية أو البركانية أو الشمسية. وإن ناحيةً أخرى هي موضوع تساؤل، إن هذه الأعمال افترضت وجود علاقات خطية بين قوى المناخ. وهذا نموذج شديد التبسيط لأمر معقد مثل مناخ الأرض، الذي يتميز بعمليات تدوير معقده وغير خطية تمتد إلى عدة مئات من السنين والتي لا نزال لا نفهمها بعد. كما يستدل مان ومن معه أنه لما كان هناك ترابط جزئي بين متوسط درجات الحرارة العالمية في القرن العشرين وتركيز CO_2، فإن قوى الدفيئة (أثر الدفيئة) هي القوة الخارجية المهيمنة لنظام المناخ. ويقدم أوزبورن وبريفا (Osborn and Briffa) عبارةً مشابهة، حيث لاحظا بالمصادفة أن دلائل الاحترار تحدث أيضاً في فترة يكون فيها تركيز CO_2 عالياً. وهناك اصطلاح شائع عند الإحصائيين هو أن الترابط لا يعني بالضرورة التسبيب (Causation). وإن تقديم عبارات استنتاجية من دون اكتشافات محددة بالنظر إلى القوى الجوية يقترح نقصاً في الدقة العلمية. خاصة وأن الاحترار الكوني وتبعاته السلبية الكامنة تحديداً، موضع اهتمام مركزي للحكومات وآلافراد. وقد وضحت إعادة بناء «عصا الهوكي» للرسم البياني لدرجة الحرارة بشكل دراماتيكي قضية الاحترار الكوني وتبناها IPCC وحكومات كثيرة كملصق بياني. وكان لشهرة هذا الرسم البياني، بالإضافة إلى حقيقة تأسيسه على استعمال خاطئ للـ PCA وضع الدكتور مان والذين كتبوا معه في مشكلة حفظ ماء الوجه.

أظهر التحليل الشبكي لمان و42 مؤلفاً آخر الذي قام به إحصائيو وغمان (Wegman) على نحو تخطيطي كيف شكلوا زمرة منغلقة، وأنهم لم يشاركوا في التأليف فحسب، بل حكّموا منشورات بعضهم بعضاً. وليست هذه الظاهرة جديدة بالطبع، ولكنها لم تكن بهذه القوة قبل الآن في التأثير بشؤون العالم.

ويجد التقرير ما يأتي:

أ. إن «مان» وزملاءه أساءوا استعمال عدد من المنهجيات الإحصائية في دراساتهم التي نتج منها وبشكل غير لائق، شكل «عصا الهوكي» في تاريخ درجة الحرارة.

ب. لم يكن الادعاء بأن تسعينيات القرن العشرين كانت أدفأ عقد في الألفية ادّعاءاً مدعماً أو مجسداً.

ج. اختفاء دورة فترة احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير من تحليل مان وزملائه ما جعل ادعاءهم ممكناً.

د. كشف تحليل شبكة اجتماعية أن المجموعة الصغيرة من باحثي المناخ القديم يراجعون أعمال بعضهم بعضاً، ويعيدون استعمال كثير من مجموعات البيانات ذاتها، ما يدفع إلى السؤال عن استقلال المراجعة الدقيقة وصدقية إعادة بناء درجة الحرارة.

هـ. يبدو واضحاً أن كثيراً من الأدلة أعيد استعمالها في معظم أوراق البحث. فمن غير المستغرب أن تحصل الأوراق على نتائج متشابهة، وبالتالي لا يمكنها الادعاء بأنها تحقيقات مستقلة.

و. على الرغم من أن الباحثين اعتمدوا بشدة على منهجيات إحصائية، لا يبدو أنهم يتفاعلون مع المجموعة الإحصائية. ولأن مضمونات السياسة العامة لهذا النقاش مذهلة مالياً فلا يبدو ظاهرياً أنه تم السعي نحو خبرة مستقلة إحصائياً أو استعمالها.

ز. على مؤلفي تقويمات علمية تتعلق بالسياسة ألاّ يقوّموا عملهم بأنفسهم. والأمر يكتسب خصوصية في حالة مؤلفي وثائق تتعلق بالسياسة مثل تقرير IPCC، «وتغير المناخ 2001: الأساس العلمي» حيث كان المؤلفون أنفسهم من وضع الأوراق الأكاديمية. ويجب على علوم المناخ المتعلقة بالسياسة أن يكون لديها مستوى أكثر غزاره من التفحص والمراجعة على يد إخصائيين متمكنين.

ح. يجب على الأبحاث الفيدرالية أن تشمل فرقاً متداخلة الاختصاصات لتجنب الأبحاث المتخصصة ضيقة التركيز.

ط . يجب على البحث الفيدرالي أن يشدد على الفهم الأساسي لآليات تغير المناخ، وأن يركز على الفرق متداخلة الاختصاصات لتجنب البحث المتخصص ضيق التركيز.

ي. بينما جمع أعضاء جماعة إعادة البناء المناخي القديم كثيراً من الدعاية لأنها تعزز جدول أعمالهم، إلاّ أنهم لم يقدموا تبصراً وفهماً للمنهجيات الفيزيائية لتغير المناخ.

سئل رئيس لجنة الـ (NAS) بعد ذلك في اجتماعات لجنة مجلسي النواب والشيوخ الأميركيين للطاقة والتجارة إن كانت الـ (NAS) قد وافقت على انتقادات ويغمان اللاذعة أم لا.

الرئيس بارتون (Barton): هل تخالف يا دكتور نورث استنتاجات تقرير الدكتور وغمان أو منهجيته؟

الدكتور نورث (North): لا. لا نخالفها ولا نعارض انتقاداته. والأمر نفسه في الحقيقة مذكور تقريباً في تقريرنا.

الدكتور بلومفيلد (Bloomfield): لقد راجعت لجنتنا المنهجية التي اتبعها الدكتور مان وزملاؤه، وشعرنا أن بعض الاختيارات كانت غير لائقة. وكان لدينا الريبة نفسها في عمله الذي وثقه الدكتور وغمان بكلام أطول.

وادعى مان أن هيئة الـ (NAS) قد سوّغت أطروحته وبررتها.

يعتبر هذا في كثير من مجالات العلوم خداعاً. وفي كثير من المجالات، كان يمكن أن يحذف اسم مان من قائمة الممارسين. فقد جُلد أمام الناس ولكن بريشة، ولا يزال يمارس عمله بربح. وكان على «مان» أن يكون ممتناً للتعامل معه بطريقة كريمة كهذه، نظراً إلى سلوكه المعيب في محاولته منع نشر النقد البنّاء. إني متأكد أن القديس بطرس سيحاكم مان على فعلته.

تبيّن قراءة هادئة لعرض الدكتور ستيف ماكينتاير (Steve McIntyre) لمان الطريقة الكاذبة المنظمة التي استعمل بها الرسم البياني لـ «عصا الهوكي» لإظهار أن المناخ اليوم أدفأ بكثير من احترار العصور الوسطى. وتبنّته IPCC كملصق صغير لتوتر المناخ عام 2001، وأعيد وضعه في تقرير عام 2007، على الرغم من أنه لم يكن مقبولاً في الأدبيات العلمية. هذا ووُسِّع العمل الأصلي لماكنتاير ماكيتريك[387] الذي أظهر أن مان ومن معه كانوا مضللين[388][389]، وصادق

(387) S. McIntyre, and R. McKitrick, «Proxy Data Base and Northern Hemisphere Temperature Series, 1998,» *Energy and Environment*, vol. 14 (2003), pp. 751-771.

(388) S. McIntyre and R. McKitrick, «The M&M Crtitique of the MB1198 Northern Hemisphere Climate Index: Update and Implications,» *Energy and Environment*, vol. 16 (2005a), pp. 69-100.

(389) S. McIntyre and R. McKitrick, «Hockey Sticks, Principal Components and Spurious Significance,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005b), L03710, doi 10.1029/2004GL021750.

على ذلك آخرون كُثر[390][391][392][393][394][395]. وبعد قراءة تاريخ «عصا الهوكي»[396]، لا يمكن لأحد أن يثق مجدداً بـIPCC، أو المتطرفين الذين يؤلفون تقويمات المناخ. وقد حثّت IPCC على انهيار الشدة، والموضوعية والأمانة التي كانت يوماً ميزات الهيئة العلمية. وذكر ماكيتريك[397] أنه لو اتخذت IPCC نوعاً من المراجعة الدقيقة التي يتفاخرون بها لاكتشفوا أن هناك خطأ في مرحلة حساب روتينية (تحليل المركب الرئيسي أو Principal Component Analysis) الذي عرَّف خطأً شكل «عصا الهوكي» كشكل سائد ومعتمد في البيانات. ويمكن لبرنامج كمبيوتر معيب أن يعطي أشكالاً زائفة لـ «عصا الهوكي» من قوائم أرقام عشوائية ليست بذي اتجاه معين.

واشترط علينا وابل الإعلام الحديث التفكير بأننا نقترب من احترار كارثي لا سابق له، وأننا نحن البشر يمكننا عملياً أن نغير المناخ.

لقد استشهد أولئك الذين ادعوا أن الأرض تعاني احتراراً عالمياً سببه الإنسان بمؤسسة «غودارد» لدراسات الفضاء التابعة لـ (NASA's Goddard Institute of Space Studies (GISS)) كمرجعية تدعم اعتقاداتهم. وادعى مدير الـ (GISS)[398]

---

(390) H. Von Storch [et al.], «Reconstructing Past Climate from Noisy Data,» *Science*, vol. 306 (2004), pp. 679-682.

(391) G. Bürger and U. Cubasch, «Are Multiproxy Climate Reconstructions Robust?,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L23711, doi: 10.1029/2005GL024155.

(392) H. Von Storch and E. Zarita, «Comment on «Hockey Stick Principal Components, and Spurious Significance» by S.McIntyre and R.McKitrick,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L20701, doi: 10.1029/2005GL022753.

(393) G. Bürger, I. Fast and U. Cubasch, «Climate Reconstructions by Regression-32 Variations on a Theme,» *Tellus*, 58A (2006), pp. 227-235.

(394) Y. Huybers, «Comment on «Hockey Stick Principal Components, and Spurious Significance» by S. McIntyre and R.McKitrick. *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L20705, doi, 10.1029/2005GL023395.

(395) M. Crok, «Kyoto Protocol Based on Flawed Statistics,» *Naturwetenskap Techniek*, vol. 2 (2005), pp. 20-31.

(396) <http://www.climateaudit.org>, and <http://scienceandpublicpolicy.rg/monckton/what_hockey-stick.html>.

(397) R. McKitrick, in: Evidence Given to the House of Lords Select Committee on Economic Affairs, *The Economics of Climate Change*, Volume II: *Evidence* (2005).

(398) J. Hansen [et al.], «GISS Analysis of Surface Temperature Change,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 104 (1999), pp. 30997-31022.

أن تسعاً من عشر أدفأ السنين في التاريخ حدثت منذ عام 1995، وكانت عام 1998 أشدها احتراراً. وكان ذلك مترافقاً مع جعجعة إعلامية كبيرة. وعندما كان على (NASA) أن تغير موقفها بناءً على البحث الذي اجراه الإحصائي العامل في تورنتو، ستيف ماكينتاير (McIntyre)[399]، لم تكن هناك جعجعة إعلامية.

وتقول (NASA) الآن إن السنين الأربع الأكثر حرارة هي من الثلاثينيات (1934، 1931، 1938، 1939). وكان عام 1934 أدفأ عام، كما كانت السنوات 1921، 1953، 1998، 1999، و2006 دافئة أيضاً. وكثير من السنين المزعوم سابقاً أنها دافئة (2000، 2002، 2003، 2004) أصبحت الآن باردة. وعلى نفس المنوال أكد مكتب المملكة المتحدة للأرصاد الجوية الآن وجود انخفاض في متوسط درجات الحرارة العالمية منذ عام 1998، على الرغم من زيادة في نسبة احتراق الفحم، والنفط، والغاز الطبيعي مقدارها 25٪ الذي أصدرت إضافات CO_2 بكميات كبيرة إلى الغلاف الجوي. وإن هذه الحقائق غير مريحة فحسب إذا تم تجاهل التاريخ، بما فيه السنوات العشر الأخيرة التي قدمت أفضل بيانات تم تجميعها حتى الآن.

لا تطيع الطبيعة الأم نماذج الكمبيوتر وأديولوجيته. وإن الإعلان عن أن سنةً معينةً كانت هي الأدفأ ليس أكثر من حساب قيمة متوسط درجات الحرارة في محطة أرصاد. ويمكن لحسابات كهذه أن تكون مضللة لأن توزيع نقاط الملاحظة على اليابسة والمحيط غير متواز، ويبقى هنالك مناطق شاسعة من الأرض غير مقاسة أو لم تخضع للقياس.

تظهر بيانات من 300 روبوت (Robots) (الإنسان الآلي) في محيطات العالم أنه كان هناك ابتراد ضئيل خلال السنوات الخمس الماضية. وبينما يزداد شعورنا بالحر ونتضايق من احتمال حدوث احترار كوني، فإننا نتجاهل إعلانات الطبيعة عن الابتراد الكوني الآتي[400]. وقد حدث هذا من قبل، وسوف يحدث مجدداً وبسرعة. وكل ما يمكننا فعله هو التأقلم، مثل ما فعلنا في الماضي.

---

(399) D. Holland, «Bias and Concealment in the IPCC Process: The «Hockey-Stick» Affair and its Implications,» *Energy and Environment*, vol. 18 (2007), pp. 951-983.

(400) R. Kerr, «The Little Ice Age: Only the Latest Big Chill,» *Science*, vol. 269 (1999), pp. 1431-1433.

تقول مسودة تقرير عام 2008 عن آثار التغير العالمي في الولايات المتحدة الأميركية (كتبه توماس ر. كارل (Thomas R. Karl) وجيري مليلو (Jerry Mellilo) وتوماس س. بترسون (Thomas C. Peterson): «ليست نماذج المناخ والطقس التاريخي مرشداً كافياً للمستقبل».

ولا يمكن إعادة كتابة التاريخ فقط لأنه لا يوافق نموذج كمبيوتري معدّ مع استنتاج مرسوم مسبقاً.

الفصل الثالث

الشمس

سؤال: هل تؤثر الشمس في مناخ الأرض؟

الجواب: نعم

إن الشمس هي المحرك الأول للمناخ، تزود الأرض بمقدار مذهل من الطاقة، وتحرك الطقس، وتيارات المحيط، والتبخر، وتمد الحياة على الأرض بالطاقة، وتمنع المحيطات من التجمد أو الغليان.

يحدث الاحترار الكوني في كواكب وأقمار أخرى في نظامنا الشمسي. ولا يمكن أن يكون لذلك علاقة بإصدار الإنسان لـ CO_2 على الأرض. وتظهر الكواكب التي تدور حول نجوم خارج نظامنا الشمسي احتراراً حرارياً ناتجاً من اختلافات مدارية وتغيرات في الطاقة المنبعثة من النجم الأب.

إن لتغيرات طفيفة جداً في نتاج الطاقة الشمسية أثراً عميقاً في مناخ الأرض. فالشمس المليئة بالطاقة تعصف الأشعة الكونية بعيداً، وهناك قدر أقل من الغيوم منخفضة المستوى، ويعكس الكوكب طاقةً أقل يردها إلى الفضاء فيحتر سطح الأرض. وتسمح شمس ضعيفة للأشعة الكونية أن تشكل غيوماً منخفضة المستوى تعكس الطاقة وتردها إلى الفضاء فيبرد سطح الأرض. وقد حسبت هذه الظاهرة وأثبتت بتجارب وملاحظات. وإن الغيوم هي محرك الطقس. كما إن للأرض فيضاً متغيراً من الأشعة الكونية المَجرِّية (خاصة بالمجرة).

إن مرشحي تحريك المناخ، هم الشمس المتغيرة (المُحرِك الشمسي)، والاضطرابات الكوكبية (قوة ميلانكوفتش (Milankovitch))، فيض الأشعة الكونية المتغير (قوة الشعاع الكوني). وتسند آثار غازات الدفيئة (الدفيئة) في الغلاف الجوي إلى المحركات الأساسية للمناخ، وقد تُوسَّع هذه التغيرات.

يُرى التحريك الشمسي وقوة أشعة المناخ الكونية عالمياً ضمن أمداء جيولوجية، آركيولوجية وتأريخية وزمنية حديثة. وقد كشف عن الدورات الشمسية المكونة من 11، 22، 87، 210، 1500 عام في صفائح الجليد والذوبانيات، والفيضانات، والجفاف، وترسبات كلٍّ من البحيرات، وعمق البحار، والكهوف، وحفرات السبر، وحلقات الأشجار السنوية، وطبقات الطلع، والخث، والكائنات الحية الهائمة في بحار النصفين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية. وليست هناك من علاقة بين CO_2 الجو ودرجة الحرارة خلال الزمن.

تتجاهل نماذج المناخ الثلاثة والعشرون التابعة للـ IPCC دور الشمس أو تقلّل من أهميته. وأخفقت جميع النماذج في توقع الابتراد في أوائل القرن الحادي والعشرين. ولم يتوقع أي من النماذج أحداث إلنينو ـ لانينا التي تنقل كميات كبيرة من الطاقة حول سطح الكوكب.

جالبات الحياة، سخونة وبرودة The Bringer of Life, Heat and Cold

هناك مفاعل نووي حراري متوهج في السماء يصدر كميات كبيرة من الطاقة إلى الأرض. وتعطي الشمس طاقةً كافيةً لتقوية تيارات المحيط والجو، ودورة التبخر والتكاثف التي تجلب المياه العذبة إلى الداخل، وتحرّك انسياب الأنهار، وكذلك الأعاصير العادية والقمعية التي تدمر الطبيعة والعمارة من حولنا. كذلك توفر الشمس الطاقة اللازمة لعملية التركيب الضوئي، وهي التي تجلب الحياة إلى الأرض. ولو كانت الشمس أكثر طاقة، لغَلَت المحيطات وتبخّرت. وإن كانت الطاقة فيها أقل، لتجمدت المحيطات وتدمرت الحياة كلها على الأرض. فالشمس تحرك الطقس والمناخ في كوكبنا. وينتج من التغيرات في نتاج الشمس تغيرات في الأرض ضمن مدى زمني هو أقل من عمر البشرية.

تضخ الشمس إلى الأرض في كل ثانية مقداراً من الطاقة يعادل الطاقة التي يطلقها زلزال شدته 8 ريختر، وتعادل في ساعة ما يستعمله الناس من طاقة في

سنة. ويحتوي النفط كمورد مسترد (Recoverable) الطاقة مقدار ما تقدمه الشمس إلى الأرض في 36 ساعة.

إننا مدركون إدركاً تاماً أن الجو حار أكثر في أشعة الشمس المتوهجة مما هو عليه عند وجود غطاء غيمي. كما نعرف أن درجة حرارة الهواء في الصيف أدنى بكثير، في المناطق الاستوائية الرطبة، مما هي عليه في صحارى بعيدة عن خط الاستواء حيث يكون الهواء جافاً. وإن أعلى درجات الحرارة المسجلة على الأرض هي في الصحارى المتوسطة البعد عن خط الاستواء، وليس في المناطق الاستوائية. إننا نعرف كذلك أن الليل الشتوي الاستوائي الرطب أدفأ بكثير من ليل شتوي في صحراء جافة تقع على البعد نفسه من خط الاستواء. مَنْ مِنّا لم يعسكر في الصحراء أو في أرض مكشوفة، ولم يشعر بحر النهار وبرودة الليل بسبب الهواء الجاف ونقص الغيوم المضلّلة؟ يبدو واضحاً أن الغيوم والرطوبة مجتمعتين مع الطاقة التي تصدرها الشمس تؤثر في درجة حرارة الهواء. فتعكس الغيوم السخونة المشعة من الشمس وتستردها إلى الفضاء. وهذا يسبّب ابتراد الكوكب. ولقد ظُن أن الغيوم يسببها تغير المناخ، غير أن القياسات والحسابات والتجارب أظهرت الآن أن الإشعاع الكوني هو الذي يشكّل الغيوم[401][402]. وأن الغيوم هي واحدة من المحركات الرئيسية لتغير المناخ.

غير أن هناك عوامل خارجية أخرى تؤثر في مناخ الأرض. وأن هذه هي ممرات النظام الشمسي من خلال مجرتنا. وينتج من ذلك اكتساب الأرض لكميات من فضلات الفضاء (معظمها غبار)، كما أنها تتعرض للقصف بكميات من مكونات نجوم مستعرة وأشعة كونية مَجَريّة من انفجارات سوبرنوفات قديمة.

غبار في الهواء

هناك مقدار هائل من الغبار في الهواء، فكل نفس نتنفسه يحوي 50 مليون جسيم. وإن هذه الجسيمات Dirt in the Air تكثر في المدن والمناطق الساحلية والمناطق المأهولة وتقل في المناطق الصحراوية والبحرية والقطبية. وتأتي معظم

---

(401) H. Svensmark [et al.], «Experimental Evidence for the Role of Ions in Particle Nucleation under Atmospheric Conditions,» *Proceedings of the Royal Society Journal A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 463 (2007), pp. 385-396.

(402) H. Svensmark and N. Calder, *The Chilling Stars: A New Theory on Climate Change* (Cambridge, MA: Icon, 2007).

الجسيمات من نشاطات الإنسان، على الرغم من أنها تسود في بعض المناطق آتية من النباتات والمحيطات. كما تزود البراكين والتربة الجو بهذه الجسيمات، فيما تستمد جسيمات كثيرة من أماكن أخرى في نظامنا الشمسي[403].

وليس كوكب الأرض سفينة فضائية، إلا أن مواد الفضاء تضاف باستمرار إلى الأرض. ولعل للفضاء الخارجي أثراً أعظم في عمليات الأرض أكثر مما يتصوره حدسنا، فقد أظهرت قياسات طائرات تحلّق على ارتفاعات كبيرة أن 40000 طن من غبار مصدره من خارج الأرض يسقط على الأرض كل عام[404]. ويحمل هذا الغبار معادن، وأحماضاً أمينية (لَبنات الحياة)، وموادّ كيميائية يمكن تشكيلها فقط من خلال عصف الأشعة الكونية. وتجلب المذنبات إلى جانب جلبها الغبار، مقداراً غير معروف من الماء وCO_2 إلى الأرض[405]. كما إن صفائح الجليد، وترسبات البحيرات وترسبات قاع البحار أماكن مثالية لقياس مقدار الغبار خارج الأرض خلال دورة الزمن. يلتقط هذا الغبار ذرات من الهيليوم (He^3) 3، وهو نظير يمكنه أن يتشكل في الفضاء الخارجي فقط، ويمكن اقتفاء أثر النجوم المستعرة (Supernova) العليا وحركتها، والمذنبات والنيازك بالهيليوم 3 (He^3) في ترسبات بحيرات ومحيطات الأرض[406][407][408][409]. كما ويتسرب بعض هيليوم النظام الشمسي (He^3) الأصلي من عمق الأرض، وبشكل رئيسي عند النتوءات المتطاولة في قاع المحيط، ويمكن امتصاصه في جسيمات غبار الجو. إن جسيمات الغبار الآتية من الفضاء إلى الأرض تبلغ نحو واحد في المئة من قطر شعر رأس الإنسان.

---

(403) P. R. Buseck and K. Adachi, «Nanoparticles in the Atmosphere,» *Elements*, vol. 4 (2008), pp. 389-394.

(404) I. W. Parkin and D. Tilles, «Influx Measurements of Extraterrestrial Material,» *Science*, vol. 159 (1968), pp. 936-946.

(405) P. Hut, «Comet Showers as a Cause of Mass Extinctions,» *Nature*, vol. 329 (1987), pp. 118-125.

(406) D. O'Sullivan, D. Zhou and E. Flood, «Investigation of Cosmic Rays and their Secondaries at Aircraft Altitudes,» *Radiation Measurements*, vol. 34 (2001), pp. 277-280.

(407) M. Ozima [et al.], «High $^3He/^4He$ Ratio in Ocean Sediments,» *Nature*, vol. 311 (1984), pp. 448-450.

(408) J. Mastuda, M. Murota and K. Nagao, «Investigation of High He-3/He-4 Ratio in Deep Sea Sediments,» *Antarctic Meteorites*, vol. XIV (1989), pp. 139-141.

(409) K. A. Farley, «Geochemical Evidence for a Comet Shower in the Late Eocene,» *Science*, vol. 280 (1998), pp. 1250-1253.

وإن كوكب الأرض يزداد في كتلته منذ بداية الزمن بسبب إضافات الغبار، والشهب والمذنبات[410].

تراقب السفينة الفضائية أوليسس (Ulysses) منذ عام 1992، فيض غبار النجوم الذي ينساب خلال نظامنا الشمسي. وتحتاج حبة غبار إلى عشرين عاماً لقطع النظام الشمسي. وأظهرت تجربة الغبار DUST على متن أوليسس أن فيض غبار النجم يتأثر جداً بمجال الشمس المغنطيسي، فيزداد إلى أقصى حد في أوج النشاط الشمسي[411]. ويحدث تصادم هذه الجسيمات الغبارية شديدة السرعة مع الكويكبات والشهب والمذنبات لتكوّن مزيداً من جسيمات الغبار.

يأتي مصدر آخر للغبار من داخل النظام الشمسي. فالأرض تدور حول الشمس داخل سديم غبار دائرة البروج. ويقع هذا الغيم بين الشمس والحزام الرئيس للكويكبات، بين المريخ وجوبيتر. وتمر الكواكب والكويكبات وانسيابات الشهب من خلال السديم دائري البروج. وهناك أكثر من 2.5 مليون مذنب في النظام الشمسي وهي مصدر رئيسي للغبار[412].

فلماذا القلق من مقادير قليلة من الغبار؟ إن جسيمات الغبار (بالإضافة إلى قطيرات الماء والجليد) في الغلاف الجوي تعكس الإشعاع الشمسي حيث ترده إلى الفضاء. كما إن جسيمات الغبار هي مراكز تكاثف لقطيرات الماء. وإن فترة مكوث (Residence Time) جسيمات الغبار المنطلقة من انفجار بركاني كبير (على سبيل المثال، كراكاتوا (Krakatoa)، 1883، فسوفيوس (Vesuvius) 1906، 1944، أغونغ 1963 (Agung)، بيناتوبو (Pinatubo)، 1991) في الجو قصيرة، فقط بضع سنوات. ولا بد من توفر قدرة ابتراد هائلة لبضع سنوات بعد قذف حمم البركان عالياً نحو 40 كيلومتراً في الجو[413]. وإن ثوران البركان

(410) P. Cloud, «Atmospheric and Hydrostatic Evolution of the Primitive Earth,» *Science*, vol. 160 (1968), pp. 1135-1143.

(411) M. Landgraf [et al.], «Penetration of the Heliosphere by the Interstellar Dust Stream during Solar Maximum,» *Journal of Geographic Research*, vol. 108 (2003), p. 8030.

(412) Y. M. Gorbanov and E. F. Knyaskova, «Young Meteorite Swarms Near the Sun. I. Statistical Relationship of Meteors with Families of Short Perihelion Comets,» *Astronomichesky vestnik*, vol. 37 (2003), pp. 555-568 (in Russian).

(413) H. H. Lamb, «Volcanic Dust in the Atmosphere; with a Chronology and Assessment of its Meteorological Significance,» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol. 226 (1970), pp. 425-533.

متقطع وواسع الانتشار. ولا يضيف غباراً إلى الجو فحسب، ولكنه يضيف أيضاً رذاذاً كبريتياً (Sulphate aerosols) يمكنه أن يبرد الكوكب[414].

يتساقط الغبار من خارج الأرض بشكل دائم، وإن كان بمعدل متغير بحسب موقع النظام الشمسي داخل ذراع المجرة، وبحسب قوة الرياح الشمسية وتشظية المذنبات. وهناك علاقة بين الغبار الجوي في جليد غرينلاند وفي ثلج القطب الجنوبي خلال 420000 عام الأخيرة مع تغيرات دورية كل 100000 عام[415][416]. أظهرت دراسات أحدث علاقة أمدها 800000 عام بين الغبار والمناخ البارد[417]. وبينت دراسات حلقات الأشجار السنوية في القطب الشمالي في فنوسكانديا وسيبيريا (Arctic of Fennoscandia) أن وجود علاقة بين الاختلاف في غبار النجم في النظام الشمسي، والنشاط الشمسي ونمو الأشجار[418]. وتعطي دورة 22 عاماً لانعكاسات المجال المغنطيسي الشمسي نافذةً لمزيد من الغبار النجمي ليخترق الدفاعات الشمسية، وهناك تساقط متزايد من الغبار النجمي على الأرض.

إن الصفائح الجليدية أماكن جيدة لبناء تاريخ الغبار. وحتى العصر الجليدي الصغير (1280 - 1850) يمكن اكتشافه أيضاً في لب جليد غرينلاند والقطب الجنوبي. وكان هناك غبار أرضي أقل ورذاذ بحري أقل في احترار العصور الوسطى (900 ـ 1300) مما كان هناك في العصر الجليدي الصغير. ويظهر لب الجليد أنه كلما كان هناك غبار أكثر في الجو، كان المناخ أبرد. ويزيد الغبار في الظروف التجلدية خمسين مرة عمّا هو موجود في الجو في الفترات ما بين التجلدية[419].

---

(414) P. Handler, «The Effect of Volcanic Aerosols on Global Climate,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 37 (1989), pp. 233-249.

(415) K. Fuhrer, E. W. Wolff and S. J. Johnsen, «Timescales for Dust Variability in the Greenland Ice Core Project (GRIP) in the Last 100,000 Years,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 104 (1999), pp. 31043-31052.

(416) J. R. Petit [et al.], «Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica,» *Nature*, vol. 399 (1999), pp. 429-436.

(417) F. Lambert [et al.], «Dust-Climate Couplings over the Past 800,000 Years from the EPICA Dome C Ice Core,» *Nature*, vol. 452 (2008), pp. 616-619.

(418) E. Kastakina [et al.], «Interstellar Dust: A Significant Driver of Climate Change?,» *Dendrochronologica*, vol. 24 (2007), pp. 131-135.

(419) J. R. Petit, «Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica,» *Nature*, vol. 399 (1999), pp. 429-436.

هناك بخار مائي أقل خلال فترات التجلد. وبالتالي يكون تساقط أقل للأمطار وحياة نباتية فقيرة. وينتج من ذلك تصحر أكثر ومزيد من الغبار. ولم ينتج الاحترار الكوني في الماضي مزيداً من التصحر، فالابتراد الكوني هو الذي يزيد التصحر. وكانت الترسبات الغبارية في جليد القطب الجنوبي في القرن العشرين أعلى مما كانت عليه في القرن التاسع عشر. ولا يزال محتوى الغبار يزيد ثلاثين مرة على ما كان عليه في الأزمنة التجلدية[420]. ولما كانت مدة بقاء الغبار الأرضي في الجو قصيرة، فلا يمكن لغبار بركاني أرضي أن يؤثر في المناخ من انفجار واحد على امتداد فترات طويلة الزمن. غير أنه إذا كانت هناك انفجارات عديدة من عدة براكين في وقت واحد تقريباً، فيمكن لذلك أن يثير تغيراً مناخياً. وكان هناك 21 انفجاراً في ستينيات القرن العشرين، بما فيها ثلاثة عام 1963. وكان في الثمانينيات 15 انفجاراً كبيراً، ثلاثة منها عام 1983. ولم تكن هذه كافية لتحفيز تغير المناخ.

إن انسياب الغبار المستمر من خارج الأرض إلى الجو مرشح محتمل لابتراد الأرض. ولا يأتي هذا الغبار من سديم غبار دائرة البروج فقط، ولكن دخول الشهب والمذنبات في غلاف الأرض الجوي الأعلى يضيف غباراً أيضاً، فهؤلاء الزوار يحترقون ويتحولون إلى غبار في جو الأرض. وتتوافق دورات الغبار خارج الأرض قبل 194، و64، و32، و21 عام مع الدورات الشمسية، ما يدل على دخول الغبار خلال قذف الأشعة الكونية[421].

يدور النظام الشمسي حول مركز المجرة ويتقاطع مع أذرعها. إن مقدار المواد داخل الذراع المجري أكثر مما هو عليه خارج الذراع المجري، ويزيد أثر الجاذبية في هذه المادة من أثر المذنبات في النظام الشمسي.

كرات الثلج والأذرع اللولبية Snowballs and Spiral Arms

علينا أن نفهم المناخ القديم كي نفهم المناخ المعاصر. وأكبر التغيرات المناخية في تاريخ الأرض حصلت خلال فترة النيوبروتروزويك (Neoproterozoic) قبل 635 إلى 750 مليون عام.

(420) J. R. McConnell [et al.], «20th Century Doubling in Dust Archived in an Antarctic Peninsula Ice Core Parallels Climate Change and Desertification in South America,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104 (2007), pp. 5743-5748.

(421) W. T. Reach, «Zodiacal Emission. I-Dust near the Earth's Orbit,» *Astrophysical Journal*, vol. 335 (1988), pp. 468-485.

إن الأسئلة الأساسية عن تجلد فترة النيوبروتروزويك هي: كيف أصبح كوكب الأرض متجلداً في مستوى سطح البحر وعند خط الاستواء، ثم أصبحت فيه فترة ما بين تجلدية حارة جداً مع درجات حرارة ناهزت ±40 درجة مئوية مع ارتفاع مستوى سطح البحر على الأقل 600 متر، ثم هبط في فترة تجلّد أخرى، ثم دخل بعدها في فترة ما بين تجلدية أخرى حارة؟ وهناك كثير من النقاش في الأبيات العلمية عن محفزات التجلد النيوبروتوزويكي وآثاره[422][423][424][425][426][427][428][429].

يأخذ اقتراح جديد عن التجلد النيوبروتيروزوكي نظرةً مجَريّة (Galactic view). أربع أذرع أو قطع من أذرع في مجرتنا تقطع طريق النظام الشمسي خلال طريقها في درب التبّانة وهي تجري بسرعة 26 كيلومتراً في الثانية. وقد مر النظام الشمسي خلال تجلّد النيوبروتوزويك من ذراع ساغيتاريوس ـ كارينا في درب التبّانة. وربما أدى ذلك إلى إنتاج اختلافات في غبار النظام الشمسي، وفي دَخْل الأشعة الكونية المشكلة للغيوم.

أظهرت قياسات غاز الهيدروجين في الفضاء في خمسينيات القرن العشرين أن مجرتنا، درب التبّانة، مجرّة لولبية. وتولد القوى الجاذبية بين النجوم أمواجاً

---

(422) R. J. Oglesby and J. G. Ogg, «The Effect of Large Fluctuations in Obliquity on Climates of the Late Proterozoic,» *Paleoclimates*, vol. 24 (1988), pp. 293-316.

(423) D. P. Rubincam, «Has Climate Changed the Earth's Tilt?» *Paleoceanography*, vol. 10 (1995), pp. 365-372.

(424) P. W. Schmidt and G. W. Williams, «The Neoproterozoic Climate Paradox: Equatorial Palaeolatitude for Marinoan Glaciations near Sea Level in South Australia,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 134 (1995), pp. 107-124.

(425) J. J. Veevers, «Tectonic-Climate Supercycle in the Billion Year Plate-Tectonic Eon: Permian Pangean Icehouse Alternates with Cretaceous Dispersed Continents Greenhouse,» *Sedimentary Geology*, vol. 68 (1990), pp. 1-68.

(426) G. E. Williams, «Late Precambrian Glacial Climate and Earth's Obliquity,» *Geological Magazine*, vol. 112 (1975), pp. 441-465.

(427) G. E. Williams, «History of the Earth's Obliquity,» *Earth Science Reviews*, vol. 24 (1993), pp. 1-45.

(428) G. M. Young, «The Geological Record of Glaciations: Relevance to Climatic History of Earth,» *Geoscience Canada*, vol. 18 (1991), pp. 100-108.

(429) P. F. Hoffman [et al.], «A Neoproterozoic Snowball Earth,» *Science*, vol. 281 (1998), pp. 1342-1346.

من مادة كثيفة وأخرى من مادة أقل كثافة، وإن المادتين تحدثان اللولب، الذي يدور حول مركز درب التبّانة. وتمزق الأمواج الكثيفة الغاز داخل النجوم منتجةً سدماً كثيفة تتشكل منها النجوم. وإن هذه النجوم الزُرْق المضيئة قصيرة العمر بموازاة أذرع المجرة غير المستقرة، وتشكل سوبرنوفات فائقة تصدر أشعةً كونية بعد انفجارها.

رحلة الزمن المَجَرّي Galactic Time Travel

اجتاز النظام الشمسي خلال 545 مليون عام مضت الأذرع اللولبية المجرية أربع مرات. واقترح عالم الفلك نير.ج. شافف (Nir J. Shaviv)[430] أن فيض شعاع كوني كبير يجب أن يحدث نتيجة مرور النظام الشمسي خلال أذرع مجرة درب التبّانة اللولبية التي تحتوي معظم نشاط تشكل النجوم. وتحدث اجتيازات كهذه في دورات أمدها 10±143 مليون عام[431]. ولاحظ عالم النظائر الجيوكيميائي الكندي جان فايزر (Jan Veizer)[432] اختلافات مناخية في دورات من 9±135 مليون عام في النشوء الكيميائي لماء البحر. وافترض في ما بعد أنه لم تكن هناك علاقة بين CO_2 الجوي ودرجة الحرارة خلال الـ 545 مليون عام الماضية[433]. وأن محتوى CO_2 الجوي خلال الـ 545 مليون عام الماضية كان أكثر من الآن بـ 25 مرة. ولم يكن هناك تأثير بيوت زجاجية ولا انقراضات بسبب CO_2 الجوي العالي هذا، ثم خلال الـ 545 مليون عام الماضية، أخذ محتوى CO_2 الجوي بالتناقص، حتى أصبح الآن قليلاً لأن الأرض تحجز CO_2 في أحجار ترسبية[434].

عندما اجتمع شافيف وفايزر، وهما عالمان في مجالات مختلفة ومن مناطق مختلفة من العالم، أظهرا أن 66 في المئة على الأقل من الاختلاف في

---

(430) N. Shaviv, «Cosmic Ray Diffusion from the Galactic Spiral Arms, Iron Meteorites, and a Possible Climate Connection,» *Physical Review Letters*, vol. 89 (2002), pp. 51-102.

(431) N. J. Shaviv, «The Spiral Structure of the Milky Way, Cosmic Rays, and Ice Age Epochs on Earth,» *New Astronomy*, vol. 8 (2002), pp. 39-77.

(432) J. Veizer [et al.], «$^{87}Sr/^{86}Sr$, $\partial^{13}C$ and $\partial^{18}C$ Evolution of Phanerozoic Seawater,« *Chemical Geology*, vol. 16 (1999), pp. 158-188.

(433) J. Veizer, Y. Godderis and L. M. Francois, «Evidence for Decoupling of Atmospheric CO2 and Global Climate During the Phanerozoic Eon,» *Nature*, vol. 408 (2000), pp. 698-701.

(434) B. P. Flower, «Warming Without CO2,» *Nature*, vol. 399 (1999), pp. 313-314.

درجات الحرارة خلال الـ 545 مليون عام الماضية كانت بسبب اختلافات الأشعة الكونية عند مرور النظام الشمسي من خلال الأذرع اللولبية[435]. وهكذا، عند تكامل مجالات من العلوم عدة تحصل عادة مفاجآت. وتظهر مفاجآت كهذه دائماً لأن العلوم ليست محدودة في أي مجال كانت.

كان النظام الشمسي خلال التجليد النيوبروتيروزوكي (قبل 750 ـ 635 مليون عام) في ذراع ساجيتاريوس ـ كارينا (Sagittarius-Carina Arm). وكان هناك التقاء خلال تجليد أوردوفشن ـ سيلوريان (Ordovician-Silurian) (قبل 450 ـ 420 مليون عام) مع ذراع برسوس. ويمكن ربط التجليد قبل 300 ـ 260 مليون عام في برمو ـ كاربونيفيروس (Permo Carboniferous) (ذراع نورما) وقبل 151 ـ 132 مليون عام في الجوراسيك وصولاً إلى فترة كريتاسيوس (Cretaceous) المبكرة[436] (ذراع سكوتوم ـ كروكس (Scutum-Crux)) بالتقاءات مع أذرع مجرية لولبية أيضاً. وكان تجليد كريتاسيوس المبكر معتدلاً، ربما بسبب محتوى[437] CO_2 الجوي العالي مع تقاطع سريع لذراع سكوتوم ـ كروكس. وقد تبع الابتراد في المايوسين (ذراع ساغيتاريوس ـ كارينا (Sagittarius - Carina Arm)) التجليد البلايستوسيني (أوريون شبور (Orion Spur)). وهناك اقتراح بأن بداية الفترة الأكثر شدة للتجليد البلايستوسيني قبل 2.75 مليون عام كانت من انبعاثات الأشعة الكونية من سوبرنوفا فائق قريب[438]. ويبقى سؤال: هل إن المرور عبر ذراع مَجرّي كافٍ لإنتاج التجليد؟ أم هل هناك حاجة إلى عوامل أخرى؟

لقد مضى على وجود النظام الشمسي في حزام غوولد (Gould's Belt) بضعة ملايين من السنين. وهنا (في هذا الحزام) قذفت الشمس والأرض بالأشعة الكونية من نجوم منفجرة ثقيلة قصيرة العمر. وتذبذبت الشمس في منتصف

---

(435) N. J. Shaviv and J. Veizer, «Celestial Driver of Phonerozoic Climate,» *GSA Today*, vol. 13 (2003), pp. 4-10.

(436) N. F. Alley and L. A. Frakes, «First Known Cretaceous Glaciations: Livingston Tillite Member of the Cadna-powie Formation, South Australia,» *Australian Journal of Earth Sciences*, vol. 50 (2003), pp. 139-144.

(437) N. J. Tabor and D. J. Beerling, «CO_2 as a Primary Driver of Phanerozoic Climate,» *GSA Today*, vol. 14 (2004), pp. 4-10.

(438) K. Knie [et al.], «^{60}Fe Anomaly in Deep-Sea Manganese Crust and Implications for a Nearby Supernova Source,» *Physical Review Letters*, vol. 93 (2004), pp. 171103-171107.

المستوى المَجرّي. وتوافقت أبرد فترة، وهي تحصل كل أربعة وثلاثين مليون عام، مع تقاطع منتصف المستوى حيث تكون الأشعة الكونية على أشدها.

ويثير ذلك أسئلةً آسرةً عن أصل التجلدات الاستوائية على مستوى سطح البحر قبل 2400 ـ 2100 مليون عام (تجلد هورونيان) (Huronian Claciation)، وقبل 750 مليون عام (التجلد الكريوغنياني (Cryogenian) أو النيوبروتيروزوكيي). وكان بعد كل من هذه التجلدات تزايد في الأكسجين الجوي ونشوء سريع للحياة. وكان هناك انفجار نجمي صغير تزامن مع الوقت الذي حدث فيه التجلد الهورونياني، قبل 2400 ـ 2000 مليون عام. تلا ذلك فترة مليار عام عندما انخفض معدل تكون النجوم انخفاضاً شديداً. ولم يكن هناك تجلّد خلال هذه المدة على الرغم من مرور نظامنا الشمسي خلال الأذرع اللولبية، فلم تكن هناك أشعة كونية كافية مستمدة من سوبرنوفات فائقة منفجرة حديثاً لإحداث ظروف بيوت جليدية (Icehouse Conditions). وكان هناك تكون نجمي بمعدل عال جداً في درب التبّانة، هو الأعلى منذ تكون الأرض[439]. ووصل إلى قمته قبل 750 مليون عام. في ذلك الوقت، بدأت الأرض بالتجليد النيوبروتيروزوكي[440][441]، وهو التجليد الأكثر شدة في كل الأزمان. وربما جعل هذا التجليد قبل 750 ـ 635 مليون عام الأرض كرةً ثلجية، أو نصف ثلجية على الأقل[442].

يحدث هذا النموذج مشكلة. فلم تكن الأرض متجمدة، عندما كانت الشمس والأرض فتيتين قبل 4000 مليون عام. وكانت الشمس تصدر طاقةً بنسبة 25 في المئة أقل من الآن، وبالتالي يجب أن تكون حرارة سطح الأرض قد جمدت سطح الماء كله. ولكن هناك دلائل كافية تبين أن الأرض احتوت على مياه سائلة، ربما قبل 4400 مليون عام. فقد أظهرت الأحجار الترسبية في

---

(439) R. Marcos de la Fuente and C. Marcos de la Fuente, «On the Recent Star Formation History of the Milky Way Disc,» *New Astronomy*, vol. 9 (2004), pp. 475-502.

(440) H. J. Rocha-Pinto [et al.], «Chemical Enrichment and Star Formation in the Milky Way Disc. III. Chemodynamical Constraints,» *Astronomy and Astrophysics*, vol. 423 (2004), pp. 517-535.

(441) N. J. Shaviv and J. Veizer, «Celestial Driver of Phanerozoi Climate?» *GSA Today*, vol. 13 (2003), pp. 4-10.

(442) P. F. Hoffman [et al.], «A Neoproterozoic Snowball Earth,» *Science,* vol. 281 (1998), pp. 1342-1346.

غرينلاند أنه كانت هناك مياه سائلة بالتأكيد قبل 3800 مليون عام[443]. توضح هذه المفارقة، مفارقة الشمس الباهتة، وجود CO_2 جوي مسيطر على الأرض ووجود انسياب حراري عال[444][445][446]. غير أن الدلائل من كيمياء كربون الحياة والترسبات تظهر أن الأمر لم يكن كذلك[447]. وتقول نظرة بديلة إن كوكب الأرض كان محاطاً بغيوم أقل في تلك المدة وأنتج بالتالي احتراراً، وبخاصة في المحيطات[448][449]. وهذا يعني أيضاً أنه كان هناك قليل من الغيوم، أو ربما لم تكن هناك غيوم على الإطلاق في الأرض الباكرة[450].

سوف تمر الشمس والأرض مرةً أخرى في المستقبل البعيد جداً من خلال ذراع سيوس، ثم يمران بعد ذلك مستقبلاً في نورما (Norma)، وسكوتوم ـ كروكس (Scutum - Crux) وساجيتاريوس ـ كارينا (Sagittarius - Carina). وستكون هناك عصور جليدية من جديد.

لا تنتظروا حتى ذلك الزمن!!

رصاصات مَجَرِّية

تقذف الأرض برصاصات ذرية من خارج النظام الشمسي باستمرار. وينحرف معظمها بفعل حجاب الشمس المغنطيسي، والرياح الشمسية، ومجال الأرض المغنطيسي. غير أن بعض الرصاصات الذرية تخترق جميع هذه

---

(443) Preston Cloud, *Oasis in Space: Earth History from the Beginning* (New York: W.W. Norton, 1988).

(444) A. J. Kaufman, «An Ice Age in the Tropics,» *Nature*, vol. 386 (1997), pp. 227-228.

(445) T. J. Crowley and S. K. Baum, «Effect of Decreased Solar Luminosity on Late Precambrian Ice Extent,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 98 (1993), pp. 16723-16732.

(446) J. F. Kasting and T. P. Ackerman, «Climatic Consequences of Very High Carbon Dioxide Levels in the Earth's Early Atmosphere,» *Science*, vol. 234 (1986), pp. 1383-1385.

(447) J. Veizer, «Celestial Climate Driver: A Perspective from Four Billion Years of Carbon Cycle,» *Geoscience Canada*, vol. 32 (2005), pp. 13-28.

(448) W. B. Rossow, A. Henderson-Sellers, and S. K. Weinreich, «Cloud Feed-Back: A Stabilizing Effect for the Early Earth?,» *Science,* vol. 217 (1982), pp. 1245-1247.

(449) N. J. Shaviv, «Cosmic Ray Diffusion from the Galactic Spiral Arms, Iron Meteorites, and a Possible Climatic Connection,» *Physical Review Letters*, vol. 89 (2002), pp. 51102-51106.

(450) N. Marsh and H. Svensmark, «Galactic Cosmic Ray and El-Niño Southern Oscillation Trends in International Satellite Cloud Climatology Project D2 Low-Cloud Properties,» *Journal of Geophysical Research*, 108 (2003): doi, 10.1029/2001JD001264.

الدفاعات. وإذا تجاهلنا دور الشمس والكون في دراستنا الأرض، فسوف نبسط العمليات الديناميكية المتداخلة في كوكبنا لدرجة السخف[451].

إن الفرضية القائلة إن الاحترار الكوني للقرن الماضي من صنع الإنسان مبنية على نتائج نماذج الكمبيوتر التي تكون فيها المحركات الأساسية للمناخ غير معتبرة اعتباراً كافياً. وهذا واضح من قياسات (RSS AMSU satellite) التي تظهر أن درجة الحرارة العالمية لم ترتفع منذ عام 1998، على الرغم من الازدياد الكبير المستمر في انبعاثات CO_2. وتبين قياسات البالون هذا التناقص أيضاً. ويأتي أهم محرك للمناخ (إلى جانب النور الشمسي) من تفاعل مدار الأرض مع النشاط الشمسي، وقوة المجال المغنطيسي داخل الكواكب، وكثافة الشعاع الكوني وغطاء الغيوم في الغلاف الجوي للأرض. وتولد كثير من هذه الظواهر من أمواج الكثافة المَجريّة التي تؤثر في لب الشمس.

ينخفض المجال المغنطيسي حول الشمس في حجمه بعيداً في النظام الشمسي واقتراباً من المشتري، عندما يقطع النظام الشمسي سديماً كثيفاً نسبياً من الغاز البين نجمي (Interstellar) خلال رحلاته المجرية. وإن هذا الانخفاض إلى نحو ربع قطره ينتج تضاعفاً في مقدار الإشعاع الكوني الذي يضرب النظام الشمسي. ويقع النظام الشمسي حالياً في منطقة فيها قليل من غاز بين نجمي ولن يلتقي بسديم كثيف كبير من الغاز البين نجمي لمليون عام أخرى.

يتكون نظير الكربون قصير العمر (C^{14})[452] عندما تضرب الأشعة الكونية النيتروجين في الجو. ويكون أعلى معدل إنتاج لـ C^{14} في مرتفعات من 9 إلى 15 كيلومتراً، وفي مناطق بعيدة عن خط الاستواء ضمن مجال جيومغنطيسي عال. وسرعان ما ينتشر الـC^{14} ويصبح موزعاً بالتساوي في الغلاف الجوي ويتفاعل مع الأكسجين لتشكيل ثاني أكسيد كربون نشط إشعاعياً. وعندما تصطدم الأشعة الكونية بجسيمات الغبار وبرذاذ البحر في الغلاف الجوي، تتحول آثار

---

(451) K. Scherer [et al.], «Interstellar-Terrestrial Relations; Variable Cosmic Environments, the Dynamic Heliosphere and their Imprints on Terrestrial Archives and Climate,» *Space Science Reviews*, vol. 127 (2007), pp. 327-465.

(452) عندما تدخل الأشعة الكونية الغلاف الجوي، تدخل في تحولات كثيرة، بما فيها إنتاج النيوترونات. وتتفاعل النيترونات مع النيتروجين $n + N^{14} = C^{14} + H^1$. لدى الكربون 14 نصف حياة من 5,730 سنة.

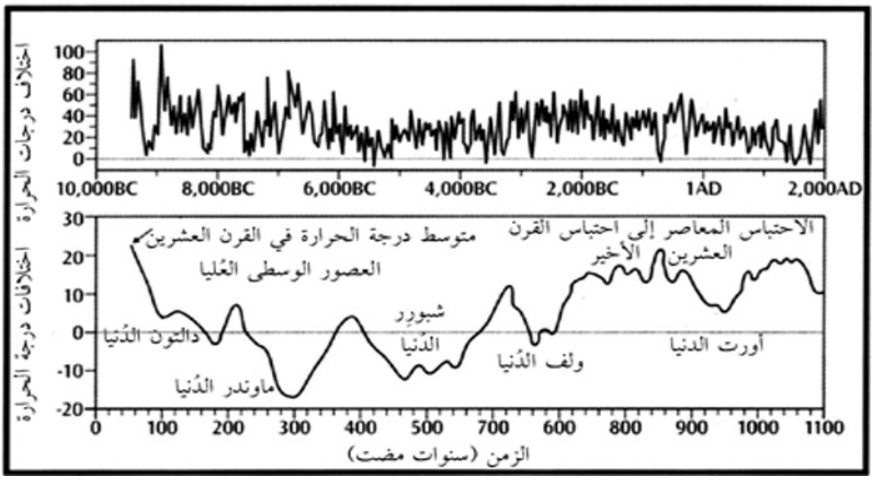
البورون (عنصر لافلزي) إلى نظير قصير العمر من البيريليوم (Beryllium) Be^{10}. يلتصق Be^{10} المنتج في الجو بفعل الأشعة الكونية بالرذاذات (Aerosois) وينتهي في الجليد القطبي. وهذا مؤشر على الاختلافات في فيض الأشعة الكونية. ويعكس التناقص في Be^{10} منذ عام 1990 التناقص في فيض الأشعة الكونية خلال هذه الفترة، ويتعلق هذا أيضاً بالفيض الشمسي. يعطي قياس لـ C^{14} في الأحفوري، وحلقات الأشجار، والخث وBe^{10} في الوحل والغبار وفي الجليد، مؤشراً إلى كثافة قذائف الأشعة الكونية الماضية. يتشكل مزيد من C^{14} وBe^{10} عندما تكون الشمس غير نشيطة وغير قادرة على بعث الأشعة الكونية بعيداً. كما يتشكل مزيد من الغيوم في هذه الأزمنة من الخمود الشمسي ويكون الكوكب أبرد. وهناك علاقة وثيقة جداً بين C^{14} وBe^{10} في مدى من المواد ودرجات الحرارة الكونية، ما يعني أن النشاط الشمسي كان محركاً لدرجات حرارة ماضية لسطح الأرض[453]. وقد أظهرت قياسات C^{14} وBe^{10} على مواد تعود إلى عشرات ألوف السنين شمساً متغيرة، ودورات من نتاج الطاقة الشمسي ودورات من الابتراد والاحترار.

ربما تغيرت العناصر إشعاعية النشاط هذه بعمليات مثل تغيرات المجال المغنطيسي للأرض، وعليه، اختلف عدد من نتاجات إعادة بناء الطاقة الشمسية الماضية المستخدمة لـ C^{14} وBe^{10}. هنالك علاقة غير محكمة بين المناخ والمجال المغنطيسي للأرض، تحركها تذبذبات في مدار الأرض تغير من سلوك لب الأرض، ويغيّر هذا تبعاً لذلك المجال المغنطيسي للأرض[454]. وعلى الرغم من أن هذه آلية مناخية ضاغطة افتراضية، غير أن تغيراً في المجال المغنطيسي يغير مقدار المادة الشمسية والكونية التي يمكنها أن تدخل إلى الأرض، عليه فإنه يمكن للمجال المغنطيسي للأرض أن يؤثر في المناخ بشكل غير مباشر[455]. ومنذ اختبار القنبلة الذرية الذي بدأ عام 1945، كان هناك أكثر من 2200 اختباراً ذري أضاف C^{14} إلى الجو، وإلى الحياة، والتربة، والحجارة.

(453) G. Parker, «The Sunny Side of Global Warming,» *Nature*, vol. 399 (1999), p. 416.

(454) K. Mursula and B. Zieger, «Long-Term North-South Asymmetry in Solar Wind Speed Inferred from Geomagnetic Activity: A New Type of Century-Scale Solar Oscillation?» *Geophysical Research Letters*, vol. 28 (2001), pp. 95-98.

(455) V. Courtillot [et al.], «Are There Connections between the Earth's Magnetic Field and Climate?,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 253 (2006), pp. 328-339.



الشكل 12 : مخطط لتغير C^{14} خلال 12,000 عام مضت (الرسم الأعلى) يظهر إما أن طاقة الشمس تتغير أو أن انسياب الأشعة الكونية التي تضرب الأرض تتغير. وتظهر الـ 1000 عام الماضية أنه لّما كان الجو بارداً بشكل استثنائي في العصر الجليدي الصغير (الرسم الأدنى)، كان هناك قليل من النشاط في كلف الشمس أورت (Oort) وولف (Wolf)، شبورر (Spörer)، ماوندر (Maunder)، ودالتون (Dalton) ذوات الدرجة الدنيا) واتصفت أزمنة أدفأ (الأزمنة المعاصرة وأزمنة العصور الوسطى) بكلف شمسية كثيرة.

يمكن إصلاح مشكلات قياس C^{14} وBe^{10} بالنظر إلى الفضاء. فالشهب تدور بسرعة في الفضاء قبل أن تسقط على الأرض. وعندما تكون في الفضاء، تُقذَف بأشعة كونية تولد نظائر إشعاعية النشاط جديدة في الشهب. وإن التيتانيوم 44 (Ti^{44}) أحد هذه النظائر. ويكمن جمال هذه التقنية في أن Ti^{44} المتكون في الفضاء لا يتأثر بالعمليات التي حدثت على الأرض. وبقياس مقدار Ti^{44} في الشهب التي سقطت على الأرض خلال السنين الـ 240 الماضية، رسم النشاط الشعاعي الكوني مقابل النشاط الشمسي على منحنى بياني تبين منه أن النشاط الشمسي تزايد خلال 100 عام الماضية[456].

تشكل الأشعة الكونية جسيمات مشحونة كهربائياً عندما تصطدم بالغلاف الجوي. وتجذب هذه الجسيمات جسيمات الماء من الهواء وتتجمع مع بعضها البعض حتى تتكثف غيوماً. لعل مساعدة الأشعة الكونية في تشكيل الغيوم أخذ

(456) I. G. Usokin [et al.], «Long Term Solar Activity Reconstructions: Direct Test by Cosmogenic ^{44}Ti in Meteorites,» *Astronomy and Astrophysics*, vol. 457 (2006), pp. L25-28.

ما يزيد على عقود، وقرون، وألفيات، بينما كان للبيئة المجرية المتغيرة للنظام الشمسي، خلال فترات زمنية أطول، آثار مناخية دراماتيكية[457]. ويمكن رؤية مثال جيد على ذلك في غرفة غيوم ولسون (Wilson cloud chamber) حيث تشكل الأشعة الكونية فيها آثاراً غيمية (كما تفعل الجسيمات عندما تتحلل إشعاعياً).

يتغير عدد الجسيمات الكونية التي تضرب الأرض مع تغير النشاط المغنطيسي للشمس. وبذلك تعمل الشمس كحارس كوني يقذف بالأشعة الكونية بعيداً، ويوفر مجالاً مغنطيسياً وقائياً لا يمكن لمعظم الأشعة الكونية أن تخترقه. تقذف الجسيمات الكونية بعيداً خلال فترات النشاط الشمسي العالي، وتتكون مستويات للغيوم أخفض فيتولد احترار كوني.

محرك الطقس

تعكس الغيوم 60 في المئة من إشعاع الشمس. ولعل تغير مقداره 1 في المئة فقط في تغيم كوكب الأرض يسبب احترار القرن العشرين. غير أن كمبيوترات IPCC لا تعالج موضوع الغيوم وتهملها من حساباتها. إن الجسيمات الصافية في الجو هي نوى لتكاثف بخار الماء إلى قطيرات تشكل غيوماً منخفضة المستوى. ويحجب الغبار الذي تنفخه الرياح (وبخاصة إذا كان غنياً بالوحل) من القارات، وغبار المذنبات والشهب والغبار البركاني، دخول الطاقة إلى الأرض... ويمكن أن يؤثر ذلك في المناخ. غير أن جسيمات الغبار هذه كبيرة جداً لكي تعمل كنوى لقطيرات الماء ولها أثر ضئيل في تشكل الغيوم ضمن مرتفعات منخفضة (على ارتفاع 3 كيلومترات، على سبيل المثال).

تؤثر رذاذات الأحماض الكبريتيكية التي تتشكل من كبريتيد ثنائي الميثيل المنبعث من كائنات صغيرة في المحيطات في تكون الغيوم المنخفضة فوق منطقة كبيرة، لأن المحيطات تغطي حوالى 70 في المئة من سطح الأرض. يتفاعل كبريت ثنائي الميثيل مع الماء وضوء الشمس لإنتاج قطيرات حمض الكبريتيك. ويسرع هذا التفاعل بالبرق في عملية اسمها «بذر الأيون»[458]. يوفر

(457) H. Svensmark, «Astronomy and Geophysics Cosmoclimatology: A New Theory Emerges,» *Astronomy and Geophysics*, vol. 48 (2007), pp.1.18-1.24, doi:10.10.1111/i468-4004.2007.48118x.

(458) F. Raes, A. Janssens, and R. van Dingenen, «The Role of Ion-Induced Aerosol Formation in the Lower Atmosphere,» *Journal of Aerosol Science,* vol. 17 (1986), pp. 466-470.

رذاذ البحر (Sea Spray) حبوباً صغيرةً جداً من كلوريد الصوديوم تتطاير من أمواج العواصف، وبخاصة في الشتاء في مناطق بعيدة عن خط الاستواء بـ 40 ـ 60 درجة. كما تبعث انفجارات بركانية متقطعة، ومنافث الغازات الساخنة، ونوافير الينابيع الساخنة مقادير كبيرة من الغازات الكبريتيكية إلى الجو[459]. وتتجمع غازات كبريتية كثيرة في الجو مع الماء لتشكل قطيرات حمض كبريتية. وإن هذه القطيرات هي أيضاً نوى الغيوم منخفضة المستوى.

تحمل التيارات الهوائية الصاعدة في السحب الركامية (Cumulus) [سحب مؤلفة من أجسام غيمية هائلة متراكمة فوق بعضها] قطيرات ماء الغيوم إلى مناطق أبرد من الجو، فتتجمد لتشكل ثلجاً وبرداً. ويمكن لقطيرات الماء المتبخر أن تشكل جليداً في مناطق بعيدة جداً عن خط الاستواء، ونراها في غيوم الطخرور (Cirrus) [سحاب رقيق شبيه بالصوف يكون على ارتفاع عال جداً] العالية. طالما أن هنالك مليارات من نوى تكاثف الغيوم، تكون نوى الجليد هذه مواقع لتكاثف مزيد من المياه. يستنتج كثير من علماء الأرصاد الجوية أن توفر المزيد من هذه النوى يكفى لتكوّن الغيوم من دون الحاجة إلى الأشعة الكونية. وبطريقة مشابهة، تساعد الذرات والجسيمات المشحونة من وقود الطائرات المحروق في أعالي الجو في تكوّن نوى تشكّل ذيول من تكاثف غيمي تجري خلف الطائرات[460]. وتنتج الأشعة الكونية أيونات تشكل نوى تكاثف الغيوم، وبالتالي الغيوم. وتجعل الأيونات المشحونة كهربائياً جسيمات الماء نوىً حتى عندما لا تكون هناك نوى حمض كبريتية كافية لتحفيز تكون قطيرات الماء.

بيّن مركز الفضاء الدنماركي الوطني[461][462] أن الإشعاع الكوني الذي يُستمد من جسيمات ذرية عالية السرعة التي تنشأ في نجوم متفجرة بعيدةً في

---

(459) T. P. Ackermann, «Aerosols in Climate Modeling,» in: *Aerosols and Climate*, edited by Peter V. Hobbs and M. Patrick McCormick (Hampton, VA., USA: A. Deepak Pub., 1988), pp. 335-348.

(460) K. Yu [et al.], «An Experimental Study of Ion-Induced Nucleation Using a Drift Tube Ion Mobility Spectrometer/Mass Spectrometer and a Cluster-Differential Mobility Analyzer/Faraday Cup Electrometer,» *Journal of Aerosol Science*, vol. 36 (2005), pp. 1036-1049.

(461) الاقتراب من ترابط الكون بالمناخ: <http://www.spacecenter.dk/publications/press-releases/getting-closer-to-the-cosmic-connection-to-climate>.

(462) H. Svensmark [et al.], «Experimental Evidence for the Role of Ions in Particle Nucleation under Atmospheric Conditions,» *Proceedings of the Royal Society Journal A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences,* vol. 10 (2006), p. 1098.

المجرة، يؤدي دوراً بارزاً في تكوين الغيوم. وقد حددت الآلية السببية التي تسهل فيها الأشعة الكونية تكوّن الغيوم في الغلاف الجوي للأرض مخبرياً[463]. فإن كانت هذه الآلية حقيقية، فهي إذاً تخضع للقياس. وقد قِيست فعلاً، ووجد أنه لا يمكن شرح العلاقة بين مجال الأرض المغنطيسي وهطول الأمطار في المناطق الاستوائية إلا إذا كان للأشعة الكونية أثر في تكون الغيوم[464].

كان الاختلاف الملاحظ من غطاء 3 ـ 4 في المئة من الغيوم الكونية خلال الدورة الشمسية 22 مرتبطاً ارتباطاً وثيقاً بفيض الأشعة الكونية[465]. وهذا، بدوره، مرتبط بالنشاط الشمسي والمجال المغنطيسي للأرض[466]. فكلما كان النشاط الشمسي أضعف، ضرب مزيد من الأشعة الكونية الأرض وزاد الغطاء الغيمي في الغلاف الجوي السفلي[467][468]. هذا ويكون الأثر أعظم في أنطقة بعيدة عن خط الاستواء بسبب الأثر الوقائي للمجال المغنطيسي للأرض ضد الجسيمات المشحونة بطاقة عالية[469]. يجب أن نتنبه أيضاً إلى أن المجال المغنطيسي للأرض يتغير باستمرار، وأن العلاقة بين فيض الشعاع الكوني وغطاء الغيوم هي حلقة الوصل بين النشاط الشمسي[470][471]، وبخاصة طول

---

(463) A. K. Barlow and J. Latham, «A Laboratory Study of the Scavenging of Sub-micron Aerosol by Charged Raindrops,» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 109 (1983), pp. 763-770.

(464) M. F. Knudsen and P. Riisager, «Is there a Link between Earth's Magnetic Field and Low-Latitude Precipitation?» *Geology*, vol. 37 (2009), pp. 71-74.

(465) H. Svensmark and E. Friis-Christensen, «Variation of Cosmic Ray Flux and Global Cloud Cover-a Missing Link in Solar-Climate Relationships,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 59 (1997), pp. 1225-1232.

(466) R. Y. Anderson, «Possible Connection between Surface Winds, Solar Activity and the Earth's Magnetic Field,» *Nature*, vol. 358 (1992), pp. 51-53.

(467) R. Dickinson, «Solar Variability and the Lower Atmosphere,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 56 (1975), pp. 1240-1248.

(468) K. Labitzke and H. van Loon, «Some Recent Studies of Probable Connections between Solar and Atmospheric Variability,» *Annals of Geophysics*, vol. 11 (1993), pp. 1084-1094.

(469) G. Ohring, and P. F. Clapp, «The Effect of Changes in Cloud Amount on the Net Radiation at the Top of the Atmosphere,» *Journal of Atmospheric Science*, vol. 37 (1980), pp. 447-454.

(470) Q. Zhang [et al.], «A Method of Determining Possible Brightness Variations of the Sun in Past Centuries from Observations of Solar-Type Stars,» *Astrophysical Journal*, vol. 427 (1994), pp. L111-L114.

(471) B. A. Tinsley, «Solar Wind Mechanism Suggested for Weather and Climate Change,» *EOS*, vol. 75 (1994), p. 369.

الدورة الشمسية[472][473]، والاهتزازات في طبقة الستراتوسفير[474]، ودرجة الحرارة الكونية[475]. ولقد أظهر كثير من الباحثين هذه العلاقة التي تربط بين النشاط الشمسي، والغيوم منخفضة المستوى، والمناخ[476][477][478][479].

يحصل تغير المناخ عبر مقاييس زمنية أطول من دورة شمسية واحدة. إضافةً إلى ذلك، ليس كل اختلاف قصير الأمد في غطاء الغيوم مساق بالأشعة الكونية، ولم يقترح ذلك أي فيزيائي شمسي. فغطاء الغيوم ضمن الدورة الشمسية يحرك أو يساق بقوى أكثر قدرةً، وتحديداً أثر فاصل المحيط (Ocean Log Effect). فبينما يزداد النشاط الشمسي، يدفأ الغلاف الجوي بسرعة أكثر من المحيط. وهذا يعني غيوماً أقل. وعندما يتناقص النشاط الشمسي، يحدث العكس. يختلف غطاء الغيوم بسبب درجة الحرارة المحلية والرطوبة. وترفع أحداث إل نينو (El Niño) الهواء الرطب الدافئ في مركز المحيط الهادي، وينتج من ذلك غيوم كثيرة. كما ترفع أحداث لانينا (La Nina) الهواء الرطب إلى الغرب. لقد أحدث كل ذلك أسىً لواضعي نماذج الكمبيوتر في هيئة الأمم المتحدة لتغير المناخ IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). فنماذج الكمبيوتر يمكنها فقط أن تعالج المعلومات التي تتلقاها. وإن لدى

---

(472) E. Friis-Christensen, and K. Lassen, «Length of Solar Cycle: An Indication of Solar Activity Associated with Climate,» *Science*, vol. 254 (1991), pp. 698-700.

(473) K. Lassen and E. Friis-Christensen, «Variability of the Solar Cycle Length during the Last Five Centuries and the Apparent Association with Terrestrial Climate,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 57 (1995), pp. 835-845.

(474) M. Pudovkin and S. Veretenenko, «Cloudiness Decreases with Decreases of Galactic Cosmic Rays,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 57 (1995), pp. 1349-1355.

(475) E. R. Ney, «Cosmic Radiation and the Weather,» *Nature*, vol. 183 (1959), pp. 451-452.

(476) P. M. Udelhofen, and R. D. Cess, «Cloud Cover Variations over the United States: An Influence of Cosmic Rays or Solar Varaiability?» *Geophysical Research Letters*, vol. 28 (2001), pp. 2617-2620.

(477) J. E. Kristjansson, A. Staple and J. Kristiansen, «A New Look at Possible Connections between Solar Activity, Clouds and Climate,» *Geophysical Research Letters*, vol. 29 (2002), doi, 10.1029/2002GJ015646.

(478) E. Palle, C. J. Butler and K. O'Brien, «The Possible Connection between Ionization in the Atmosphere by Cosmic Rays and Low Level Clouds,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 66 (2004), pp. 1779-1790.

(479) I. G. Ososkin [et al.], «Latitudinal Dependence of Low Cloud Amount on Cosmic Ray Induced Ionization,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), doi, 10.1029/2004GL019507.

IPCC دزينتين من نماذج الكمبيوتر. وجميعها حساسة في قراءة نتائج الغيوم مما هي عليه في تقديرات نتائج الغيوم المقاسة في أنظمة المناخ الحقيقية[480]. ولا تتوفر بيانات عملية كافية لقياس أي تغيرات طويلة الأمد في التَغيّم بدقة تزيد على 1 في المئة. وهذا يعني أننا لا نعرف حقيقةً كم من احترار القرن العشرين هو طبيعي، وإذا كانت هناك أخطاء كبيرة في تقديراتنا في ملاحظة التغذية الراجعة، فمن المحتمل أنه لا يمكن وضع نموذج لنظام المناخ الحقيقي. علماً بأن أيّاً من نماذج IPCC كان قد خمّن بحصول ابتراد بعد 1998. فإذا لم تتمكن النماذج من وضع توقعات قابلة للاختبار لبضع سنوات مقبلة، فلا فائدة منها في توقع تغير مناخ مقبل أمده مئات السنين في المستقبل.

إن للنماذج النظرية للـ IPCC عدداً محدداً من آليات القوى المناخية وآليات التغذية الراجعة. ويتيح ذلك للتأثير الكلي للآثار الشمسية أن تتناقص. وتكمن المشكلة في أن نماذج كهذه تصرف النظر عن آليات التغذية الراجعة غير المعروفة، وعن الآثار الشمسية البديلة على المناخ مثل تغيرات طاقة الأشعة فوق البنفسجية (UV) في الإنتاج، وفقدان الأوزون، وتغيرات الرياح الشمسية التي تؤثر في تشكل الغيوم[481]. وبينما تبقى هذه العوامل غير معروفة، فسوف تنمذج بطريقة ركيكة، أو ربما لن تستعمل أبداً (وهذه هي المقاربة التي اتخذتها IPCC). إن التغيرات الشمسية أعظم بكثير من الافتراضات الشمسية المطبقة في نماذج المناخ[482][483][484][485][486]. وتثير التغيرات الشمسية

---

(480) P. M. Forster and J. M. Gregory, «The Climate Sensitivity and its Components Diagnosed from the Earth Budget Radiation Data,» *Journal of Climate*, vol. 19 (2006), pp. 39-52.

(481) J. M. Pap and P. Fox, «Solar Variability and its Effects on Climate,» *Geophysical Monograph Series Volume*, vol. 141 (2004).

(482) M. J. Stevens and G. R. North, «Detection of Climate Response to the Solar Cycle,» *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 53 (1996), pp. 2594-2609.

(483) J. T. Houghton [et al.], *Climate Change 2001: The Scientific Basis* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

(484) D. H. Douglass and B. D. Clader, «Climate Sensitivity of the Earth to Solar Irradiance,» *Geophysical Research Letters*, vol. 29 (2002), doi, 10/1029/2002GL015345.

(485) J. Hansen [et al.], «A Closer Look at United States and Global Surface Temperature Change,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 106 (2001), pp. 23947-23963.

(486) P. Foukal, G. North and T. Wigley, «A Stellar View on Solar Variations and Climate,» *Science*, vol. 306 (2004), pp. 68-69.

تغيرات في درجة الحرارة، كما تثير تغيرات درجات الحرارة تغيرات في مقدار غازات الدفيئة لتأثير الدفيئة) في الجو، وهذه عملية نراها في لب الجليد في القطب الجنوبي[487].

كرة السخونة الكبيرة تلك التي في السماء

تشكلت الشمس على اللب المنهار لسوبرنوفا فائق. ولعلنا نكون قد تعلمنا في المدرسة أن الشمس مؤلفة من الهيدروجين والهيليوم. وكان هناك شك متداول في أن الشمس ليست بهذه البساطة لأكثر من 30 عاماً. إلا أن نظائر من الأكسجين، والماغنيزيوم، والزينون، والنيتروجين في الشمس، والرياح الشمسية، والكواكب، النيازك، والوهج الشمسي، والقمر تفيد بأن الشمس بمعظمها تحوي العناصر نفسها (الأكسجين، والحديد، والماغنيزيوم، والكالسيوم، والكبريتيك، والنيكل والاسترنتيوم) كأحجار نيزكية عادية وكواكب حجرية[488][489][490][491][492][493].

وهناك دلائل مرئية حديثة عن بنيات صلبة غنية بالحديد تحت نطاق الشمس السائل الخارجي[494]. ولا تنشأ عناصر مثل الحديد، والأكسجين، والنيكل، والكبريتيك والسليكون إلا في العمق الداخلي لسوبرنوفا فائق (Supernovae). إن الشمس، حقيقةً، نجم نابض[495]، ويُحدِث هذا نتاجاً

---

(487) J. R. Petit [et al.], «Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostock Ice Core, Antarctica, » *Nature*, vol. 399 (1999), pp. 429-436.

(488) M. J. Newman and R. T. Rood, «Implications of Solar Evolution for the Earth's Early Atmosphere,» *Science*, vol. 198 (1972), pp. 1035-1037.

(489) T. M. Esat [et al.], «Magnesium Isotopic Composition of Interplanetary Dust Particles,» *Geophysical Research Letters*, vol. 4 (1997), pp. 190-197.

(490) O. K. Manual [et al.], «Strange Xenon: Extinct Superheavy Elements and the Solar Neutrino Puzzle,» *Science*, vol. 195 (1977), pp. 208-210.

(491) G. R. Huss, «Solar System: When the Dust Unsettles,» *Nature*, vol. 440 (2006), pp. 751-752.

(492) O. Manuel, S. A. Kamat and M. Mozina, «Isotopes Tell Origin and Operation of Sun: First Crisis in Cosmology Conference, Monaco, Portugal, 23-25 June 2005,» *Astrophysics* (2005), arXiv:astro-ph/0510001v1.

(493) T. R. Ireland [et al.], «Isotopic Enhancements of ^{17}O and ^{18}O from Solar Wind Particles in the Lunar Regolith,» *Nature*, vol. 444 (2006), p. 776.

(494) < http://www.thesurfaceofthesun.com/index.html > .

(495) P. Toth, «Is the Sun a Pulsar?,» *Nature*, vol. 270 (1977), pp. 159-160.

مختلفاً من الطاقة. ونجد باستمرار بقايا سوبرنوفا فائق في نظامنا الشمسي، ما يعزز فكرة أن هذه المادة انهارت لتشكل الشمس[496][497][498]، وأن الشمس هي غبار نجمي معادةً دورته.

تبين المعرفة الحاضرة أن الشمس مؤلفة من عناصر عادية مستمدة من بقايا نجم سابق في موقع الشمس الحاضر ذاته. وإنها نابضة وديناميكية وتصدر مقداراً مختلفاً من الطاقة. ولم يكن هذا الإصدار المختلف عظيماً جداً ليسمح بتجمد محيطات الأرض، أو لتسخين الحياة على الأرض.

الانبعاثات الشمسية الغاضبة Angry Solar Emissions

توضح تحذيرات (NASA) من العواصف الشمسية أننا نتجه نحو زمن من النشاط الشمسي الأدنى مع وهج شمسي أقل، وعواصف إشعاعية متدنية. هذه هي الأخبار الجيدة. فإذا كان هناك رحلات قمرية ومريخية خلال هذا الزمن، فإن فرص عطل معدات الكمبيوتر والاتصالات والإبحار بسبب العواصف الشمسية التي لا تهدأ ستكون أقل. غير أن الدورة الشمسية 25 ستكون ضعيفة، وتصل إلى ذروة ضعفها في عام 2022. وبهذا سنتمتع نحن أهل الأرض بمزيد من الغيوم والأزمنة الأبرد.

والأخبار السيئة هي أن أشعة كونية أقل ستبعدها الرياح الشمسية. وعليه، سيكون السفر إلى الفضاء أكثر خطورة. وتتحدد القيود المفروضة على رحلات الفضاء إلى المريخ وغيره من الأماكن البعيدة بأنه مجرد ما يكون رواد الفضاء خارج الترس المغنطيسي الواقي للأرض، فإن القذف المكثف للأشعة الكونية خلال فترات طويلة من السفر في الفضاء سيسبب خطراً متزايداً للإصابة بالسرطان، بالإضافة إلى السد (إعتام عدسة العين (Cataract)) وغيرهما من الأمراض. تخترق الأشعة الكونية المعدن، لذلك فإن زيادة وزن السفينة الفضائية باستعمال حجب معدنية لن يحل المشكلة. وإذا ترك رواد الفضاء ستار الشمس المغنطيسي الواقي

(496) R. V. Ballad, «Isotopes of Tellurium, Xenon and Krypton in Allende Meteorite Retain Record of Nucleosynthesis,» *Nature*, vol. 277 (1979), pp. 615-620.

(497) O. Manuel [et al.], «Nuclear Systematic: Part IV: Neutron-Capture Cross Sections and Solar Abundance,» *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, vol. 266 (2005), pp. 159-163.

(498) O. Manuel, M. Mozina and H. Ratcliffe, «On the Cosmic Muclear Cycle and the Similarity of Nuclei and Stars,» *Journal of Fusion Energy*, vol. 25 (2005), pp. 107-114.

لاستكشاف أماكن بعيدة من النظام الشمسي، فقد تكون رحلتهم بلا عودة.

إن عواصف الشمس شائعة، تقذف فيها تياراً قاسياً من الجسيمات المشحونة، والرياح المغنطيسية، التي تلف مجال الأرض المغنطيسي. فضلاً عن ذلك هناك كرات ضخمة من الغاز المتأين (Ionised) تقذفه الشمس وهجاً ساطعاً. ويمكن رؤية ذلك بأفضل حالاته خلال فترة الكسوف الكلي. كما ينبعث وهج شمسي ثانوي مرة أو مرتين كل عقد. لقد كان للنشاط الشمسي أثره الأول في العالم الحديث عند الساعة السادسة والنصف مساءً يوم 28 آب/ أغسطس 1859 عندما تعطلت خطوط البرق خارج مدينة بوسطن، واحترقت المعدات الكهربائية في أماكن أخرى، وتمّت رؤية الأنوار الشمالية (Northern lights) للكلف الشمسي من أقصى الجنوب في الباهاماس (Bahamas)، وحصل تعطيل (Mayhem) بسبب وهج الشمسي الكبير مع متعلقاته من العصفات الإلكترومغنطيسية. ويقول ستيوارت كلارك (Stuart Clark) في تقرير معاصر:

«كانت الأرض في أيلول/ سبتمبر 1859 مغمورةً كلها بغيوم هائجة من الغاز الحار، وانبثقت هالة حمراء كالدم من القطبين إلى المناطق الاستوائية. وتعطلت نظم البرق حول العالم، واحترقت المحركات في لهب، وأفقدت الصدمة الكهربائية العاملين وعيهم، وترنّحت إبر البوصلات وغيرها من الآلات الحساسة وكأنها ارتطمت بقبضة مغنطيسية هائلة. وأخذ الناس، لأول مرة، يعقلون أن الأرض ليست في عزلة عن الكون». ضرب وهج شمسي عام 1989 الشبكة الكهربائية في شمال كيبيك. ولو أنتجت الشمس وهجاً غير عادي (SuperFlare) بقدرة تزيد 10,000 مرة على قدرة وهج عام 1989، لذاب الجليد في أقمار المشتري، ولغلت الحياة كلها على الأرض. لذلك، يبقى جميع مشغلي الراديو الهواة، وفنيو الأقمار الاصطناعية، والطيارون، والفلكيون منتبهين إلى التغيرات الشمسية. ونحن محظوظون جداً لأن الشمس بقيت مستقرة جداً خلال فترة طويلة، فإن تغيراتها الخفيفة جداً تحرك المناخ[499].

ويمكننا أن نشكر طالعنا للاستقرار الطويل في درجة الحرارة، والحياة على الأرض، والطقس والمناخ.

---

(499) J. R. Kuhn, K. G. Libbrecht and R. H. Dickie, «The Surface Temperature of the Sun and Changes in the Solar Constant,» *Science*, vol. 242 (1988), pp. 908-911.

هنالك علاقة بين الانفجارات المفاجئة للنشاط الشمسي، التي تكون الوهج الشمسي، والمناخ[500]. وتنتج الشمس الغاضبة وهجاً أو شفقاً قطبياً (Aurora) فتصبح الأنوار الشمالية نشيطةً أكثر ثم تزحف جنوباً. إن سجل الملاحظات الطويل لأعداد الأشفاق القطبية في النصف الشمالي للكرة الأرضية هو قياس لنشاط الوهج الشمسي عدد الأشفاق في العقد، علاقةً وثيقة بالمناخ[501]. يتحرر غازي الهيدروجين والهيليوم من لب الأرض وجُبَّتها، ولكنهما يضيعان في الفضاء. غير أن هناك انسياباً من طلقات ذرية من الهيدروجين. ويعد الانسياب المتغيّر للهيدروجين الذري إلى الغلاف الجوي للأرض من الشمس والفضاء (القوة الهيدروجينية) آلية تحرزية مناخية ضاغطة[502].

تصدر الشمس أيضاً مقداراً متغيراً من الطاقة فوق البنفسجية (UV) وتؤثر هذه الطاقة على الأوزون في طبقة الستراتوسفير. غير أن أوزون الستراتوسفير يتأثر أيضاً بالدورات الشمسية[503]، والانبعاثات البركانية[504]، والمواد المستنزفة للأوزون[505]، وتغير المناخ[506]. وإن التغيرات في شدة الأشعة فوق البنفسجية تراوح بين 0.5 ـ 0.8 في المئة، وإن هذه التغيرات جرى حسابها، واستنتاجها من نماذج، وحددت من التغيرات في مركبات تمتص (UV) في الجدار البذري لرجل الذئب (Club Moss)[507] (نبات عشبي دائم الخضرة ذو أوراق صغيرة

(500) N. Scafetta, and B. J. West, «Solar Flare Intermittency and the Earth's Temperature Anomalies,» *Physical Review Letters*, vol. 90 (2003), pp. 248701-248705.

(501) A. Ruzmaikin, J. Feynman and Y. L. Yung, «Is Solar Variability Reflected in the Nile River?,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 111 (2006), D21114, doi: 10.1029/2006JD007462.

(502) K. Scherer [et al.], «Interstellar-Terrestrial Relations: Variable Cosmic Environments, the Dynamic Heliosphere and their Imprints on Terrestrial Archives and Climate,» *Space Science Reviews*, vol. 127 (2007), pp. 327-465.

(503) J. Rozema, «Paleoclimate: Toward Solving the UV Puzzle,» *Science*, vol. 296 (2002), pp. 1621-1622.

(504) A. Tabazadeh [et al.], «Arctic «Ozone Hole» in a Cold Volcanic Stratosphere,» *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 99 (2002), pp. 2609-2612.

(505) J. C. Farman, B. G. Gardiner and J. D. Shanklin, «Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal ClO_x/NO_x Interaction,» *Nature*, vol. 315 (1985), pp. 207-210.

(506) F. Goutail [et al.], «Early Unusual Ozone Loss during the Arctic Winter 2002/2003 Compared to Other Winters,» *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 5 (2005), pp. 665-677.

(507) B. H. Lomax [et al.], «Plant Spore Walls as a Record of Long-Term Changes in Ultra-Violet-B Radiation,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 592-596.

متراكبة شبيهة بالإبر أو الحراشف). وإن هذا التغير دوري (22 عاماً و80 ـ 90 عاماً)[508]. ولهذا أثر في كمية الأوزون المنتج[509]. وهناك حلقة وصل بين مقدار الطاقة الشمسية التي تضرب الغلاف الجوي وتيارات الرياح في الغلاف الجوي العلوي[510]، وتغير مقدار طاقة الـ (UV) المؤثرة في مركبات الكبريتيك التي تتحرك بين الغلاف الجوي والمحيط[511]. ويؤثر هذا في عدد نوى تكاثف الغيوم، وفي انعكاس الطاقة الشمسية وهي راجعة إلى الفضاء، وكنتيجة نهائية، على درجة حرارة سطح البحر. هذا لا يؤثر التغير في إشعاع الـ (UV) الصادر من الشمس وفي إنتاج الأوزون فحسب، (ما يسمى ثقب طبقة الأوزون) وإنما يؤثر في درجة الحرارة العالمية أيضاً[512].

عندما تتميز الشمس غضباً، تنهار شبكات الكهرباء، والراديو، والتلفزيون، والإنترنت، والأقمار الاصطناعية، وأنظمة الملاحة. وقد نجلس بعدها تحت أضواء الشموع ونحن نتجاذب أطراف الحديث.

ولعل موضوع حوارنا سيكون أن الشمس حتماً هي معنى الحياة.

الاضطراب الداخلي للشمس Inner Turbulance of the Sun

يستخدم علماء الفيزياء الشمسية نموذجاً شمسياً معيارياً لحساب كثير من خصائص الشمس الداخلية. وتقترح هذه الحسابات لباً (25 في المئة من نصف قطر الشمس)، حيث يحدث الانصهار النووي، ونطاقاً شعاعياً (70 في المئة من نصف قطر الشمس) ونطاقَ حمل حرارياً (5 في المئة من نصف قطر الشمس) حيث تشق الحرارة طريقها إلى السطح بواسطة فيض الحمل الحراري، ويمكن

(508) G. Lohmann, N. Rimbu, and M. Dima, «Climate Signature of Solar Irradiance Variations: Analysis of Long-Term Instrumental, Historical, and Proxy Data,» *International Journal of Climatology*, vol. 24 (2004), pp. 1045-1056.

(509) N. A. Krivova, S. K. Solanki and L. Floyd, «Reconstruction of Solar UV Irraiance in Cycle 23,» *Astronomy and Astrophysics*, vol. 452 (2006), pp. 631-639.

(510) N. K. Balachandran [et al.], «Effects of Solar Cycle Variability on the Lower Stratosphere and Troposphere,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 104 (1999), pp. 27321-27339.

(511) S. H. Larsen, «Solar Variability, Dimethyl Sulphide, Clouds and Climate,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 19 (2005), GB1014, doi: 10.1029/2004GB002333.

(512) N. A. Krivova, S. K. Solanki and L. Floyd, «Reconstruction of Solar UV Irraiance in Cycle 23,» *Astronomy and Astrophysics*, vol. 452 (2006), pp. 631-639.

أن يُولِّد عدم الاستقرار الشمسي نتيجة للبلازما الدائرة في وسط المجال المغنطيسي. وهذا يؤدي إلى زيادة انسيابات حرارية وانحرافات عن النموذج الشمسي المعياري[513]. ومن القيود على حجم المجال المغنطيسي للب الشمس وجود مجال مغنطيسي[514] ينتج تذبذبات كبيرة[515].

إن الشمس عبارة عن بلازما مغنطيسية ناشطة تحرك اختيارياً عناصر خفيفة مثل الهيدروجين والهيليوم والنظائر الأخف لعناصر أخرى إلى سطحها. وتتسارع أيونات الهيدروجين التي يولدها إصدار النيتروجين وتلاشيه في اللب، عالياً بمجالات مغنطيسية عميقة، وبالتالي تعمل كغاز ناقل يحافظ على فصل المركبات الأثقل عن المركبات الأخف في الشمس. كما تثير انبعاثات النيوترون من مركز الشمس سلسلةً من ردات الفعل التي تولد نوراً، ونيوترونات شمسية، وانسياباً لمنتج اضمحلال النيوترون (الهيدروجين) في الرياح الشمسية، وفصل الذرات الثقيلة عن الذرات الخفيفة. وتحدث هذه العملية أيضاً في نجوم كثيرة أخرى[516].

إن الحزام الناقل الداخلي الكبير للشمس يتمثل بتيار دائر هائل من البلازما الحارة داخل الشمس. ولديه فرعان شمالي وجنوبي. يحتاج كل منهما إلى نحو 40 عاماً ليؤدي دورةً كاملة، ويتحكم دوران الحزام بدورة كِلف الشمس (Sun Spot Cycle) (والكلف بقع داكنة تظهر بين فترة وأخرى على سطح الشمس). ويتحرك الحزام الناقل عادةً بسرعة المشي الاعتيادي، نحو متر في الثانية، وبقي يتحرك ضمن هذه السرعة منذ القرن التاسع عشر.. وقد تباطأ في السنوات الأخيرة إلى 0.75 من المتر في الثانية في الفرع الشمالي، و0.35 من المتر في الثانية في الفرع الجنوبي. وينغمس هذا الحزام بنحو 200000 كيلومتر تحت سطح الشمس ويلاحظ عادة كنشاط كلفي. الكلف بطبيعتها عقد مغنطيسية تفور من قاعدة الحزام الناقل، وتذهب إلى سطح الشمس، فهي تعبيرات سطحية عن لولبة (الحركة اللولبية) للمجال المغنطيسي بين نطاقات الشمس الإشعاعية والحملية.

---

(513) A. Grandpierre and G. Agoston, «On the Onset of Thermal Metastabilities in the Solar Core,» *Astrophysics and Space Science*, vol. 298 (2005), pp. 537-552.

(514) D. O. Gough and M. E. MacIntyre, «Inevitability of a Magnetic Field in the Sun's Interior,» *Nature*, vol. 394 (1998), pp. 755-757.

(515) A. Friedland and A. Gruzinov, «Bounds on the Magnetic Fields in the Radiative Zone of the Sun,» *Astrophysics Journal*, vol. 601 (2004), p. 570.

(516) O. Manual, S. A. Kamat and M. Mozina, «The Sun is a Plasma Diffuser that Sorts Atoms by Mass,» *Astrophysics*, vol. 654 (2007), pp. 650-664.

وتندفع كلف الشمس من مناطق متوسطة البعد عن خط الاستواء إلى خط الاستواء، بفعل حركة الحزام الناقل، ويسبب هذا الاندفاع تسارع الحزام الناقل.

وحيث إن الحزام يتحكم بنشاط الكلف فإن سرعة حركة الحزام تخبرنا بشدة نشاط هذه الكلف قبل عقدين من حدوثها. وبذلك يعني التحرك البطيء للحزام الناقل في الشمس نشاطاً شمسياً أدنى.

يظن أن لآلة الاهتزاز الكوني ضمن التردد المنخفض (Global Oscillation at Low Frequency) (GOLF) في المرصد الشمسي والهيليوسفوري (Solar and Heliospheric Observatory) (SOHO) القدرة على رصد اهتزازات جاذبية ضمن لب الشمس. وإذا كان الحال هكذا، فإن لب الشمس يدور أسرع من سطحها[517]. ويتألف النظام الشمسي من الشمس والكواكب الدائرة حولها، وتكون الكواكب الأربعة الرئيسية منها (المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون) هي الأهم. وتدور جميع كواكب النظام الشمسي، بما فيها الشمس، حول مركز كتلة النظام الشمسي. وتتغير المسافة بين الشمس ومركز النظام الشمسي، ما يحدث تذبذباً جاذبياً (Gravitational Wobble) في مدار الشمس[518]. ويحدث التبادل بين التجميع والتشتت المتناوب للكواكب الأربعة الرئيسية ضمن فترات منتظمة، فيما تؤكد الكواكب الخارجية الكبرى (المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون) أن الشمس ليست مركز الجاذبية (Center of Gravity) للنظام الشمسي، وأن الشمس تدور حول مركز الجاذبية للنظام الشمسي كل 11.1 عاماً[519][520]. ويعني هذا الاقتران المداري أن البلازما الشمسية تدور كل 11.1 عاماً منتجةً دورة شمسية مدتها 11.1 عاماً[521].

تبعد الشمس أحياناً عن مركز جاذبية النظام الشمسي بمليون كيلومتر، فيما

---

(517) < http://www.alphagalileo.org/index.cfm?fuseaction = readrelease&releaseaid-520213 > .

(518) D. A. Juckett, «Solar Activity Cycles, North/South Asymmetries, and Differential Rotation Associated with Spin-Orbit Variations,» *Solar Physics*, vol. 191 (2003), pp. 201-206.

(519) C. de Jager and G. J. M. Versteegh, «Do Planetary Motions Drive Solar Variability?,» *Solar Physics*, vol. 229 (2005), pp. 175-179.

(520) I. R. G. Wilson, B. D. Carter and I. A.Waite, «Does a Spin-Orbit Coupling Between the Sun and the Jovian Planets Govern the Solar Cycle?,» *Publications of the Astronomical Society of Australia*, vol. 25 (2008), pp. 85-93.

(521) H. Shirley, «Axial Rotation, Orbital Revolution and Solar Spin-Orbit Coupling,» *Monograph Note of the Royal Astronomical Society*, vol. 368 (2006), pp. 280-282.

تتطابق معه أحياناً أخرى. ويؤدي ذلك إلى اضطرابات كبيرة داخل الشمس. وسوف لن نتمكن من قياسها حتى نتمكن من القيام بقياسات من خارج الغلاف الجوي للأرض باستعمال الأقمار الصناعية. إن مقدار التغيرات هذه تبلغ أجزاء مئوية فقط، ولكن الشمس كبيرة وتصدر مقداراً هائلاً من الطاقة، وعليه فإن لهذه التغيرات الضئيلة أثراً كبيراً في الأرض.

عندما يتبع موضع الشمس موضع مركز النظام الشمسي، تتسارع الشمس. ويحدث هذا خلال بداية الدوران الأول للنظام الشمسي، ومدته 11 عاماً. ثم تستمر الشمس في الدوران حول مركز كتلة النظام الشمسي، ولكن سرعتها المجرية تأخذ بالتناقص حتى تعود إلى موضعها الأول. ثم تعاد هذه الدورة التي مدتها 22 عاماً (دورة هيل) (Hale Cycle). وينتج من عمليتي التسارع والتباطؤ هذه زيادة في عدد الكلف الشمسية، بينما يتكوّن الحد الأدنى من الكلف المعترضة عندما تكون الشمس في مواضع متقدمة أمامية أو متراجعه خلفية[522].

صدمة ورعب: إن الثابت الشمسي ليس ثابتاً

ليس الثابت الشمسي ثابتاً، وكذلك الطاقة الخارجة من الشمس[523]. فقد بيّنت قياسات الأقمار الاصطناعية منذ عام 1979، ونشاط الكلف، أن الثابت الشمسي ليس ثابتاً. وتدعي IPCC أن التغير في الثابت الشمسي أقل من 0.1 في المئة، وتستنتج أن لا أثر له في المناخ مقارنةً بأثر CO_2. وهذا الادعاء مضلل لأن تغيراً نسبته 0.1 في المئة لا يشير إلى الاختلاف الكامل بين الحد الأقصى والحد الأدنى[524][525][526]. وإذا أخذ ذلك بالاعتبار سيكون التغير 0.22 في المئة[527].

---

(522) J. Javaraih, L. Bertello and R. K. Ulrich, «Long-Term Variations in Solar Differential Rotation and Sunspot Activity,» *Solar Physics*, vol. 232 (2005), pp. 25-40.

(523) J. R. Kuhn, K. G. Libbrecht and R. H.Dickie, «The Surface Temperature of the Sun and Changes in Solar Constant,» *Science*, vol. 242 (1988), pp. 908-911.

(524) C. Fröhlich, «Variations in Total Solar Irradiance,» in: B. Frenzel, ed., *Solar Output and Climate during the Holocene* ([n. p.]: Gustav Fischer Verlag, 1995), pp. 125-127.

(525) J. E. Hansen, A. A. Lacis and R. A. Ruedy, «Comparison of Solar and other Influences on Long-Term Climate,» paper presented at: *Climate Impact of Solar Variability: Proceedings of a Conference Held at NASA Goddard Space Flight Center*, Greenbelt, Maryland, April 24-27, 1990.

(526) Douglas V. Hoyt and Kenneth H. Schatten, *The Role of the Sun in Climate Change* (New York: Oxford University Press, 1997).

(527) تظهر قياسات الأقمار الصناعية أن الثابت الشمسي هو 1367 W/m^2 و 0.22 في المئة من هذه الطاقة =

وقد تكون التغيرات خلال فترات زمنية طويلة ثلاثة أو خمسة أضعاف التغير المقاس. إضافةً إلى ذلك، يمكن أن يكون لتغير خفيف جداً في أي نظام متعدد المركبات ومعقد، أثر عميق. إن تغير الثابت الشمسي خلال سبع سنوات وبنسبة 0.22 في المئة يكافئان تغيراً في درجة حرارة سطح الأرض مقداره 0.45 درجة مئوية، وبإضافة هذا المقدار إلى آثار الاحترار المديني وهو بحدود 0.1 درجة مئوية، يكون مجموع الزيادة في درجة حرارة الأرض 0.55 درجة مئوية على الأقل. وهكذا فإن أي زيادة في درجة حرارة سطح الأرض هي بسبب تغيرات شمسية فحسب.

يمكن مراجعة إعادة بناء الإشعاع الشمسي للفترة 1900 ـ 1980[528] مع بيانات مستحصلة من القمرين الصنعيين (ACRIM and PMOD) اللذين قاسا الإشعاع الشمسي الكلي[529]، لإظهار تاريخ المناخ في القرن العشرين. وقد حسب، بهذه الطريقة، أن الشمس ساهمت بـ 46 ـ 49 في المئة من الاحترار الكوني للأرض[530]، وباعتبار هذه النتيجة، هنالك شك بنسبة 20 ـ 30 في المئة، أي أن الشمس ربما كانت مسؤولة عن نحو 60 في المئة من زيادة درجة الحرارة في القرن العشرين.

لقد قلّلت مجموعة تشخيص النماذج المناخية من قيمة دور الشمس، وأنتجت نماذج توازن الطاقة التي استخدوها تقديرات احترار شمسي خلال هذه الفترة أقل بضعفين إلى عشرة أضعاف مما وجد فعلاً[531][532].

= $3\ W/m^2$. وأن الثابت الشمسي هو مقدار الطاقة التي تصل إلى حافة الغلاف الجوي للأرض. وينعكس حوالى 30 في المئة من هذه الطاقة والمنطقة المشعة من سطح الأرض هي ربع هذا السطح. فهناك فقط $239\ W/m^2$ متوفر لتسخين الجو. وهكذا فإن التغير الذي مقداره $3\ W/m^2$ لديه أثر مناخي فقط بمقدار $0.53\ W/m^2$. ويعتمد تأثير ذلك في درجة الحرارة العالمية على نموذج الكمبيوتر الدوري العالمي الذي يستعمل لحساب حساسية المناخ. وإن متوسط المدى من 0.3 إلى $1.4C/\ W/m^2$ مقداره $0.85C/\ W/m^2$ الذي يولد أثراً مناخياً مقداره 0.45 درجة مئوية.

(528) J. Lean, J. Beer, and R. Bradley, «Reconstruction of Solar Irradiance Since 1610: Implications for Climate Change,» *Geophysical Research Letters,* vol. 22 (1995), pp. 3195-3198.

(529) R. C. Wilson, and A. V. Mordvinov, «Secular Total Solar Irradiance Trend during Solar Cycles 21-23,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003): 10.1029/2002GL016038.

(530) N. Scarfetta, and B. J. West, «Phenomenological Solar Contribution to the 1900-2000 Global Surface Warming,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33: 10.1029/2005GL025539.

(531) J. M. Pap and P. Fox, «Solar Variability and its Effects on Climate,» *Geophysical Monograph Series Volume*, vol. 141 (2004).

(532) M. J. Stevens and G. R. North, «Detection of Climate Response to the Solar Cycle,» *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 53 (1996), pp. 2594-2609.

فإذا تمكنا من قياس التغيرات الضئيلة في الثابت الشمسي من الأقمار الاصطناعية، فهل يمكن قياس نتائج هذه التغيرات الصغيرة جداً على الأرض؟ الجواب نعم من دون لبس. وقد اقتفي أثر هذه التغيرات خلال الزمن[533][534]، باستعمال المواد التي أسقطتها الجبال الجليدية في أسفل المحيط الأطلسي الشمالي. وجاءت بعض هذه المواد من عيّنات لمواقع تبعد عن بعضها البعض آلاف الكيلومترات، ما يدل على أن الدورات كانت كونية. وتزايد مقدار المواد التي سقطت كل 1500 عام، حيث طافت جبال الجليد جنوباً في المحيط الأطلسي خلال فترات باردة مؤقتة.

يحرك الزخم الزاوي المجمع (Combined Angular Momentum) للكواكب الخارجية العملاقة، المدار غير المنتظم للشمس حول مركز كتلة النظام الشمسي. وهكذا فإن النشاط الشمسي المتغير هو النتاج الإلكترومغنطيسي للتأخير في الاستجابة بسبب مدار الشمس غير المنتظم. ولعل أكثر خصائص الشمس المغنطيسية وضوحاً هي الكلف، وهي مجالات مغنطيسية ينشق عنها سطح الشمس. وتزيد حيوية الشمس المغنطيسية من عدد الكلف، ما يدل على أن مقادير كبيرة من الطاقة تصدر من عمق الشمس. وتتوهج الكلف وتستقر في دورات لـ 11.1 عاماً. وكنا نعيش خلال السنين الخمسين الماضية في فترة من النشاط الشمسي العالي وغير العادي من ناحية أخرى. وتموت الكلف في كل 200 سنة مع تناقص النشاط الشمسي (دورة دي فريس ـ سويس -De Vries) ((Suess cycle). وعندما ينهار نشاط الكلف، تبرد الأرض دراماتيكياً إلى أدنى حد، وهذه ظاهرة حدثت مرات كثيرة خلال السنوات الـ 10000 الماضية. ويتوقع معظم علماء الفلك اليوم بعودة شمس أهدأ[535]، بسبب الفجوة بين نشاط الكلف الشمسية وحزام الشمس الناقل الكبير[536].

وسينتج من النشاط الشمسي المتناقص إشعاع كوني متزايد يهاجم الأرض،

---

(533) G. Bond [et al.], «Persistent Solar Influence on North Atlantic Climate during the Holocene,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 2130-2136.

(534) R. Kerr, «A Variable Sun Paces Millennial Climate,» *Science,* vol. 294 (2001), pp. 1431-1433.

(535) M. Temmer, A. Veronig and A. Hansimeier, «Does Solar Flare Activity Lag behind Sunspot Activity?,» *Solar physics*, vol. 215 (2003), pp. 111-126.

(536) M. Dikpati [et al.], «Diagnostics of Polar Field Reversal in Solar Cycle 23 Using a Flux Transport Dynamo Model,» *Astrophysics Journal*, vol. 601 (2004), pp. 1136-1151.

ينتج منه غيم متزايد. وستعكس الغيوم منخفضة المستوى طاقة الشمس وترجعها إلى الفضاء، ما ينتج منها ابتراد أكثر للأرض.

هذا ولا يتطلب وجود تغير كبير في نتاج الشمس للطاقة حتى يكون هناك أثر عميق في مناخ الأرض. فإذا قصرت الشمس بإصدار 1 إلى 1.5 واط فقط لكل متر مربع أقل من الآن، فسوف نكون في فترة مشابهة لفترة العصر الجليدي الصغير الباردة (ماوندر الأدنى)[537].

ويذكر أن كلف الشمس بدأت تضعف[538]، وبخاصة خلال الدورة الشمسية 23[539]. وكان هناك في 27 أيلول/سبتمبر 2008 مئتا يوم من دون كلف شمسية. ويتوقع علماء فلك أن الاتجاهات في النشاط الشمسي سيكون انخفاضاً سريعاً في نشاط الكلف بدءاً من الدورة الشمسية 24. وإذا استمر هذا الاتجاه، فيقال إنه من الممكن حصول ماوندر أدنى آخر يتزامن مع نشاط الكلف المتناقص[540].

يقترح بعض علماء الفلك أن نشاط الكلف المتناقص سينتج مناخاً أبرد بحلول عام 2030[541]. ويتوقع آخرون أنه سيكون هناك زمن بارد جداً على الأرض مثل دالتون (1795 ـ 1825)، أو ماوندر الأدنى (1645 ـ 1715)[542]. وكانت درجة الحرارة في هذه الأزمنة منخفضة، وكانت الترسبات فيها عالية، والنزاع الاجتماعي متزايداً[543].

---

(537) K. F. Tapping [et al.], «Modelling Solar Magnetic Flux and Irradiance During and Since the Maunder Minimum,» *Solar Physics*, vol. 246 (2006), pp. 309-326.

(538) W. Livingston, «Sunspots Observed to Physically Weaken in 2000-2001,» *Solar Physics*, vol. 207 (2004), pp. 41-45.

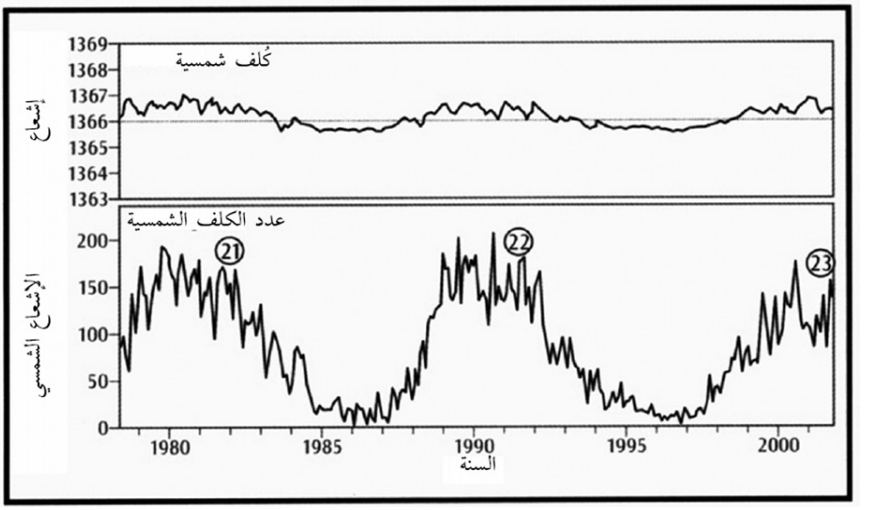
(539) M. J. Penn and W. Livingston, «Temporal Changes in Sunspot Umbral Magnetic Fields and Temperatures,» *The Astrophysical Journal,* vol. 649 (2006), pp. L45-L48: doi, pp.10.1086/508345.

(540) K. H. Schatten, and W. K. Toshiba, «Solar Activity Heading for a Maunder Minimum,» *Abstract, 24th Solar Physics Division Meeting* (2003).

(541) C. De Jager, «Solar Forcing of Climate 1: Solar Variability,» *Space Science Reviews*, vol. 120 (2005), pp. 197-241.

(542) T. Landscheidt, «New Little Ice Age Instead of Global Warming?,» *Energy and Environment*, vol. 14 (2003), pp. 327-350.

(543) A. Ruzmaikin, «Effect of Solar Variability on the Earth's Climate Patterns,» *Advances in Space Research* (2007), doi:10.1016/j.asr.2007.01.076.



الشكل 13: التغير في الثابت الشمسي (الرسم الأعلى) يظهر أن الثابت الشمسي ليس ثابتاً. ويمكن لهذا التغير في الثابت الشمسي أن يكون متعلقاً بعدد الكلف الشمسية (الرسم الأسفل). والدورات الشمسية 21 و22 و23 موضحة في الرسم الأسفل.

خلافاً للاعتقاد السائد أن البشر يسببون احتراراً حرارياً، هناك رأي علمي من علماء الفلك في مرصد بلكوفو (Pulkovo) في روسيا[544][545]، هو أن الأرض ستواجه انخفاضاً بطيئاً في درجات الحرارة بين عامي 2012 و2015. ومن المتوقع أن تصل المقادير المتناقصة من الطاقة الشمسية إلى أقل حد لها بحلول 2040، مما يؤدي إلى تجمد عميق (Deep Freeze) حوالى 2055 ـ 2060. وهذه نظرة يدعمها علماء فلك آخرون[546][547][548][549].

(544) H. I. Abdussamatov, «On Long-Term Variations of the Total Irradiance and on Probable Changes in Temperature in the Sun's Core,» *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, vol. 21 (2005), pp. 471-477 (In Russian).

(545) H. I. Abdussamatov, «On Long-Term Variations of the Total Irradiance and Decrease of Global Temperature of the Earth After a Maximum of XXIV Cycle of Activity and Irradiance,» *Bulletin of Crimea Observatory*, vol. 103 (2006), pp. 122-127 (In Russian).

(546) Z. -S. Lin, and S. Xian, «Multi-Scale Analysis of Global Temperature Changes and Trend of a Drop in Temperature in the Next 20 Years,» *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 95 (2007), pp. 115-121.

(547) Y. A. Nagovitsyn, «Solar Activity during the Last Two Millennia: Solar Patrol in Ancient and Medieval China,» *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 41 (2001), pp. 680-688.

(548) D. H. Hathaway and R. M. Wilson, «What the Sunspot Record Tells us about Space Climate,» *Solar Physics*, vol. 224 (2004), pp. 5-19.

(549) L. Svalgaard, E. W. Cliver and Y. Kamide, «Sunspot Cycle 24: Smallest Cycle in 100 Years?,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L01104, doi:1010.1029/2004GL021664.

تشوّهات في جمالها

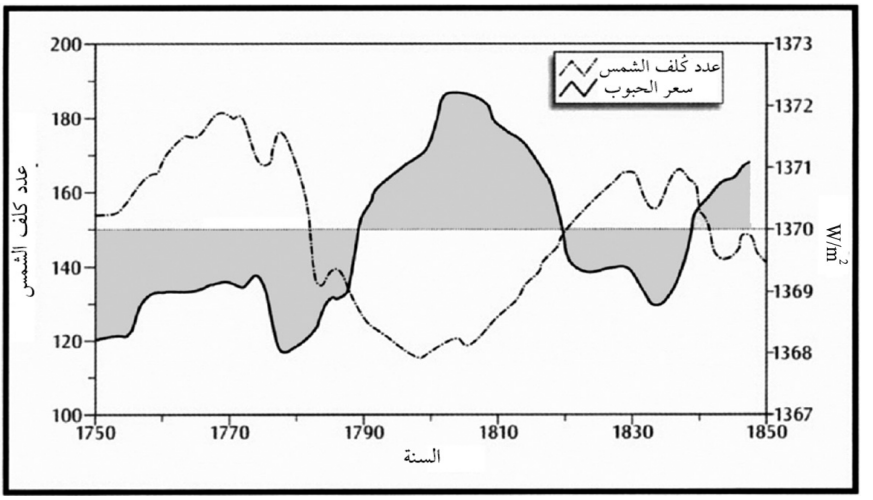
عرفت الكلف الشمسية منذ أكثر من 2000 عام. وسجلت الملاحظات الأولى عنها في شرق آسيا. وما إن أصبحت التلسكوبات أداة علماء الفلك في القرن السابع عشر، حتى أصبح هناك مزيد من ملاحظات معمقة حولها. عيّن يوهانس هفليوس (Johannes Hevelius) (1611 ـ 1687) في دانتزيغ (غدانسك الآن) عام 1647، حركة كلف الشمس شرقاً وباتجاه خط اعتدال الشمس، ثم وضع الفلكي وليام هرشل (William Herschell) (1738 ـ 1822)، عام 1801، علاقة بين العدد السنوي لكلف الشمس وسعر الحبوب في لندن المسجل عام 1776 من قبل آدم سميث (Adam Smith)، في كتاب **ثروة الأمم** (*The Wealth of Nations*). ولا تزال هذه العلاقة تحرك الزراعة، بطرائق عدة، بين كلف الشمس وإنتاج الحبوب.

نشر علماء الفلك البريطانيون قبل 150 عاماً علاقة موثقة جداً بين نشاط كلف الشمس والجوع في الهند. وقد أظهر د. إ. هتشنز (D. E. Hutchins) في **دورات الجفاف والمواسم الجيدة في جنوب أفريقيا** (*Cycles of Drought and Good Seasons in South Africa*)، المنشور عام 1889، وجود علاقة متزامنة بين نشاط الكلف الشمسية، ودرجة الحرارة، وتساقط الأمطار، وجريان الأنهار. وتم قياس الطبيعة الدورية للكلف الشمسية لأول مرة عام 1843، قاسها هاينريخ شواب (Heinrich Schwabe) (1789 ـ 1875). وقد ظن شواب ورودلف ولف (Rudolf Wolf) أن دورة الـ 11.1 عاماً من الكلف الشمسية قد تكون متعلقة بالفترة المدارية للمشتري (11.86 سنة).

تظهر كلف شمسية، قطرها 73000 كيلومتر، كبقع داكنة ضمن أكثر طبقة خارجية للشمس. عمق هذه الطبقة 400 كيلومتر، وتعطي معظم الإشعاع الشمسي. وتكون درجة الحرارة عند الحد الداخلي لهذه الطبقة حوالى 6000 درجة مئوية، وفي الخارج حوالى 4200 درجة مئوية[550]. وتكون درجة الحرارة ضمن كُلفة (مفرد كلف) شمسية نحو 4600 درجة مئوية. وهناك مجال مغنطيسي شعاعي ضمن كلفة الشمس ينعكس اتجاهه في سنوات متناوبة ضمن الكلف الشمسية الرئيسية في مجموعة. وتنشأ خطوط المجال المغنطيسي من كلفة شمسية واحدة

(550) J. R. Kuhn, K. G. Libbrecht and R. H. Dickie, «The Surface Temperature of the Sun and Changes in the Solar Constant,» *Science*, vol. 242 (1988), pp. 908-911.

وتدخل إلى كلفة أخرى. وهناك مزيد من كلف الشمس خلال فترات من النشاط المغنطيسي المتزايد. وعندما يكون هناك نشاط مغنطيسي متزايد، تصدر جسيمات مشحونة بدرجة عالية أكثر من سطح الشمس، يرافقها مزيد من الطاقة فوق البنفسجية وتصبح الشمس أكثر إشراقاً. وتكون الشُفق القطبية (Polar Auroras) على كوكب الأرض أكثر شيوعاً، ويمكن أن تمتد إلى مناطق قريبة من خط الاستواء حتى خط عرض 40 درجة، في سنوات يكون فيها عدد الكلف كثيراً.



الشكل 14: أزمنة ارتفاع عدد كلف الشمس هي أزمنة ازدهار مع فائض من الحبوب المنتجة وانخفاض في أسعارها نسبياً، بينما تكون أزمنة نشاط كلف الشمس المنخفضة (أعداد منخفضة) أزمنة نقص في الحبوب وأسعار حبوب عالية نسبياً[551].

هناك انسياب متردد أمده 25 شهراً من الكلف الشمسية، تركب (Superimposed) فوق دورة الـ 11 عام (دورة شواب (Schwabe cycle)) ودورة 22.2 عاماً (دورة هيل) (Hale Cycle) ودورات شمسية أخرى (دورة بروكنر (Bruckner Cycle) التي أمدها 33 عاماً، ودورة غلايسبرغ (Gleissberg Cycle) التي مدتها 87 عاماً، ودورة ديفريسويس (DeVries Suess Cycle) التي مدتها 210 أعوام، ودورة دانسغارد ـ أوشغر (Dansgaard-Qeschger Cycle) التي مدتها 1500 ± 500 عام). وإن الدورات الرئيسية التي حركت تغير المناخ في ما مضى

(551) Ulrich Berner, Hansjorg Streif, hrsg., *Klimafakten: Der Ruckblick, ein Schlussel fur die Zukunft* (Hannover: NLFB, [2000]).

على الأرض هي دورة شواب وهيل، وغلايسبرغ ودانسغارد ـ أوشغر. وليس هناك سبب لافتراض أي شيء مختلف في المستقبل.

إن طول دورة كلفة الشمس يراوح بين 9.8 إلى 12 عاماً وقد سجل الطول الأقصى لدورات الكلف في الأعوام 1770 و1845 و1940. وكانت الدورة رقم 23 قصيرة، 10.0 سنوات بدلاً من المتوسط 11.1 عاماً. وتكون الشمس مشرقة أكثر بـ 0.07 في المئة[552] خلال أزمنة النشاط الشمسي العالي مثلما كانت عام 2000. وكان لدورتي كلف الشمس 22 و23 قمتان في أواخر 2006 وأوائل 2007، وكان هناك أدنى درجة لكلف الشمس[553][554]. وهذا يتماشى مع مناخ أدفأ من المعتاد[555]. إن كلفة الشمس 24 فوقنا، وستكون الشمس أهدأ الآن، سيكون هناك كلف شمسية أقل[556]، وسنواجه أزمنة أبرد[557]. لقد وجدت بعض الكلف الشمسية في أوائل عام 2008 وكان لها صفات دورة الكلفة 24. وبحلول أيلول/سبتمبر 2008، كان هناك 200 يوم متواصل من دون كلف. وآخر مرة انقضت فيها مجموعة من الأشهر من دون كلف كانت في بدايات القرن التاسع عشر، وكانت فترة باردة جداً (دالتون الدنيا (Dalton minimum)).

إن التغير الدوري يُطيل دورة كلف الشمس وعددها ليس فريداً بالنسبة إلى الشمس. وهناك معلومات متزايدة تظهر أن الشمس وغيرها من النجوم تقضي فقط 25 في المئة من عمرها من دون كلف.

إن طول دورة الكلف الشمسية قياس غير دقيق لتغير النشاط الشمسي. والمهم هو مجموع النشاط الشمسي (على سبيل المثال، الإشعاع، والمواد، والمجالات

---

(552) N. Scafetta and B. J. West, «Phenomenological Solar Signature in 400 Years of Reconstructed Northern Hemisphere Temperature Record,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L17718, doi: 10.1029/2006GL027142.

(553) T. Atac, and A. Ozgus, «Overview of the Solar Activity during Cycle 23,» *Solar Physics*, vol. 233 (2006), pp. 139-153.

(554) V. N. Ishov, «Properties of the Current 23rd Solar-Activity Cycle,» *Solar System Research*, vol. 39 (2005), pp. 453-461.

(555) E. Friis-Christensen and K. Lassen, «Length of the Solar Cycle-an Indicator of Solar Activity Closely Associated with Climate,» *Science*, vol. 254 (1991), pp. 5032, 698-700.

(556) M. A. Clilverd [et al.], «Predicting Solar Cycle 24 and Beyond,» *Space Weather*, vol. 4 (2007), S09005, doi.10.1029/2005SW000207.

(557) L. Svalgaard, E. W. Cliver, and Y. Kamide, «Sunspot Cycle 24: Smallest Cycle in 100 Years?,» *Geophysical Research Letters*, 32 (2005), L01104, doi:10.1029/2004GL21664.

الإلكترومغنطيسية والجذبية)[558]. وتتفاوت دورة الـ 11 عاماً في السعة والطول. وربما يستعمل طول الدورة الشمسية كمقياس نائب عن الإشعاع. ويعمل مرصد آرماغ (Armag) في شمال إيرلندا على الاحتفاظ بتقارير عن الدورات الشمسية منذ عام 1795. فالجو يكون أبرد عندما تكون دورة الكلف الشمسية طويلة، وبالعكس يكون الجو أدفأ عندما تكون دورة الكلف الشمسية أقصر[559][560].

كان هناك تزايد مستمر في النشاط الجيومغنطيسي الشمسي منذ بداية القرن العشرين[561]. وتتوسط الرياح الشمسية انتقال العزم الزاوي (Angular Momentum) من الشمس إلى الأرض، وهذا يحدث تأخيراً فيتغير معدل دوران الأرض. ويقاس معدل دوران الأرض من طول فترة النهار.

يحدث التغير في النشاط الشمسي تأخيراً في معدل حركة دوران الأرض يؤثر بدوره في معدل درجة حرارة السطح بمعدل 0.022 درجة مئوية لكل تغير في ألف جزء من الثانية في مدة النهار[562]. وتعكس دورة هيل الشمسية المغنطيسية التي مدتها 22 عاماً طول قياسات النهار. ويكون طول النهار في أقصى حالاته (على سبيل المثال، عندما تدور الأرض بأقل سرعة) في التقاطب الشمسي الموجب الأقصى (Maximum Positive Solar Polarity) (على سبيل المثال، بالقرب من أدنى درجة لكلفة الشمس بين أعداد زوجية وفردية من دورات الكلف الشمسية)، ويكون طول النهار في أقصر حالاته خلال التقاطب السلبي الأقصى[563]. ارتفع متوسط درجة الحرارة الكونية بعد الابتراد بين عامي 1940 و1975، إلى 0.3 درجة مئوية في عام 1976، كما ارتفعت درجة حرارة

---

(558) D. V. Hoyt, «Variations in Sunspot Structure and Climate,» *Climate Change*, vol. 2 (1979), pp. 79-92.

(559) R. M. Wilson, «Evidence of Solar-Cycle Forcing and Similar Variables in the Armagh Observatory Temperature Record 1844-1999,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 103 (1997), pp. D19, 11.

(560) B. E. Palle and C. J. Butler, «Sunshine Records from Ireland, Cloud Factors and their Link to Solar Activity and Cosmic Rays,» *International Journal of Climate*, vol. 21 (2001), pp. 709-729.

(561) K. Georgieva and B. Kirov, «Long Term Changes in Solar Meridional Circulation as the Cause for the Long-Term Changes in the Correlation Between Solar and Geomagnetic Activity,» *Annales Geophysicae,* (2007) arXiv:physics/0703187v1.

(562) S. Duhau, «Solar Activity, Earth's Rotation Rate and Climate Variations in the Secular and Semi-Secular Time Scales,» *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 31 (2006), pp. 99-108.

(563) K. J. Georgieva, «Solar Dynamics and Solar-Terrestrial Influences,» in: *Space Science: New Research* (New York: Nova Science Publishers, 2006).

سطح البحر أيضاً. وتزامن إعادة التوازن الحراري بين سخونة المحيط والغلاف الجوي مع التغير في معدل طول النهار[564]. بدأت درجة الحرارة بالازدياد ثم توقفت عن ذلك بعد 22 عاماً، في عام 1998.

ربما كانت العلاقة بين النشاط الشمسي ودرجة حرارة اليابسة في النصف الشمالي للكرة الأرضية أفضل لو استعمل طول الدورة الشمسية لتمثيل تغير الشمس بدلاً من عدد الكلف الشمسية. وهناك علاقة قوية تربط النشاط الشمسي مع الابتراد الكوني مع الذي حدث منذ ابتراد العصور الوسطى (900 ـ 1300) بما فيها ماوندر الأدنى (1645 ـ 1715) ودالتون الأدنى (1795 ـ 1825). وكانت هذه الفترات من الابتراد المكثف خلال العصر الجليدي الصغير، عندما كانت هناك كلف شمسية قليلة أو عندما اختفت الكلف الشمسية جميعها.

لقد رقمت الأحد عشر سنة الأولى من كل دورة. وابتدأ العد منذ الدورة الغريبة التي بلغت ذروتها عام 1760، ويمكن الاستدلال على نشاط الكلف الشمسية قبل عام 1760 من قياسات C^{14} وBe^{10} في الجليد والوحل والخشب، والنوازل (Stalactites) والأحفوري. وكان قد حدث ابتراد خفيف ضمن احترار العصور الوسطى (أورت الدنيا، 1040 ـ 1080)، وكانت هناك حالات دنيا من كلف الشمس في 1450 ـ 1540 (شبورر الأدنى) و1280 ـ 1340 (وولف الأدنى) في العصر الجليدي الصغير. وتزامنت الفترات الأبرد من العصر الجليدي الصغير (أوائل القرن الرابع عشر إلى أواخر القرن التاسع عشر) مع وولف، وشبورر، وماوندر، ودالتون ذوات الدرجات الدنيا.

أعلنت «وولف الأدنى» نهاية احترار العصور الوسطى وبداية العصر الجليدي الصغير الذي كانت مدته 600 عام. وتطلب الأمر 23 عاماً فقط للتغير من مناخ دافئ إلى مناخ بارد. إضافةً إلى ذلك، ظهرت علاقة بين عدد الكلف ومتوسط درجة الحرارة للنصف الشمالي للكرة الأرضية منذ عام 1861. والعلاقة الأفضل هي بين طول الدورة الشمسية، ودرجة الحرارة، فالشمس أساسية في تحديد درجة الحرارة الكونية .وقد عرف هذا منذ زمن[565] بعيد. ومع تزايد

(564) I. R. Plimer, *A Short History of Planet Earth* (New York: Wiley, 1996).

(565) J. A. Eddy, «Climate and the Role of the Sun,» in: *Climate and History*, edited by T. M. L. Wigley, M. J. Ingram and G. Farmer (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1981).

الملاحظة الشمسية[566][567]، ودراسات الإشعاع الكوني، بزغت الشمس الآن كمحرك رئيس لتغيرات المناخ[568]، مثل احترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير، واحترار أواخر القرن العشرين. وتظهر قياسات C^{14} من أشجار الصنوبر الأهلب (يبلغ معدل عمرها 8000 سنة) 18 كلفة شمسية بحد أدنى خلال السنين الـ 7800 الماضية[569]. إن الحدود الدنيا لكلف الشمس والمناخ البارد المتعلق بها هي معيار، وليست فقط صفة للعصر الجليدي الصغير.

إذا أثرت تغيرات النشاط الشمسي في مناخ الأرض، فيجب أن تؤثر أيضاً في المناخ بأماكن أخرى من النظام الشمسي، ولقد أثرت فيها، فقد أظهر تلسكوب هبل (Hebble) أن قمراً من نبتون (تريتون) أصبح دافئاً منذ أن زاره مسبر فضائي استكشافي (Explorer) عام 1989[570]. وقد تبين في عام 2002 أن ضغط الهواء على بلوتو (Pluto) ازداد ثلاثة أضعاف خلال 14 عاماً، ومشيراً إلى ارتفاع في درجة الحرارة مقداره درجتين مئويتين[571]. كما أصبح الغلاف الجوي لبلوتو أكثر كثافة[572].

وقالت بعثة ناسا أوديسيا (NASA Odyssey) عام 2003 إن هناك دلائل على احترار كوني على المريخ، وقالت ناسا عام 2005[573] إن الأغطية الجليدية على القطب الجنوبي للمريخ تناقصت لثلاث سنوات متتابعة[574]. وأظهر تلسكوب

---

(566) R. C. Willson, «Total Solar Irradiance Trend during Solar Cycles 21 and 22,» *Science,* vol. 277 (1997), pp. 1963-1965.

(567) E. Friis-Christensen and K. Lassen, «Length of the Solar Cycle, an Indication of Solar Activity Closely Associated with Climate,» *Science*, vol. 254 (1991), pp. 698-700.

(568) J. J. Lane, M. H. Nichols and H. B. Osborn, «Time Series Analysis of Global Change Data,» *Environmental Pollution*, vol. 83 (1994), pp. 63-68.

(569) C. P. Sonnet and H. E.Suess, «Correlation of Bristlecone Pine Ring Widths with Atmospheric ^{14}C Variations: A Climate-Sun Relation,» *Nature*, vol. 307 (1984), pp. 141-143.

(570) مكتب أخبار MIT، 24 حزيران/ يونيو 1998.

(571) الاحترار الحراري عند علماء الغاز بلوتو، 9 تشرين الأول/ أكتوبر 2002، <http://www.space.com>.

(572) أخبار ABC، 26 تموز/ يوليو 2006

(573) مختبر تسيير الطائرات لدى ناسا، باسادينا: <http://mars.jpl.nasa.gov/odyssey>، غرفة الأخبار، 8 كانون الأول/ ديسمبر 2003.

(574) أخبار ناشونال جيوغرافيك (National Geopraphic News).

هبل عام 2006 بقعة عاصفة حمراء جديدة على المشتري وارتفاعاً في درجة حرارته بمقدار درجة مئوية[575]. هذا وقد لوحظ العديد من التغيرات على المريخ منذ مئات السنين وإلى حد الآن. ويتغير انعكاس الطاقة الشمسية على المريخ خلال الدورات العقدية (Decadal) ولا علاقة لها بعواصف الغبار. ويتغير الإشراق (Brightness) في مربع من سطح المريخ، أي بنسبة 10 في المئة أو أكثر. ومن غير المعروف بالتحديد كيف تؤثر هذه التغيرات في البيئة، في المريخ. غير أنه يبدو أنها تجلب تغيرات في الطقس طويلة الأمد وتغيرات مناخية جديدة[576]. هذا قد أصبح المريخ دافئاً بـ 0.65 درجة مئوية بين سبعينيات وتسعينيات القرن العشرين، وهذا مشابه لارتفاع درجة حرارة الأرض بـ 0.7 درجة مئوية خلال القرن الماضي.

يظهر كلٌّ من المريخ وتريتون وبلوتو والمشتري احتراراً واضحاً[577][578]. وتظهر تغيرات المناخ على كواكب أخرى وأقمارها. إن تغير المناخ في أماكن أخرى من النظام الشمسي لا يمكن أن يسببها النشاط البشري على سطح الأرض، فلا بد إذاً من وجود قوة محركة خارج الأرض؛ إنها الشمس. فإن كان الوضع هكذا، علينا أن نرى دلائل على الاحترار الكوني في كواكب تدور حول نجوم خارج نظامنا الشمسي. وقد فعلنا ذلك، فقد أظهرت كواكب بحجم المشتري خارج نظامنا الشمسي احتراراً لأغلفتها الجوية يتعلق بتغيرات مدارية وتغيرات في الطاقة الصادرة عن النجم الأب[579].

وهذا هو بالضبط ما نشهده على كوكبنا الأرضي.

الماء، وثاني أكسيد الكربون، والحرارة والشمس

ليس هناك علاقة ملحوظة بين المناخ العالمي وCO_2 الجوي خلال الزمن

---

(575) *USA Today* (4 May 2006).

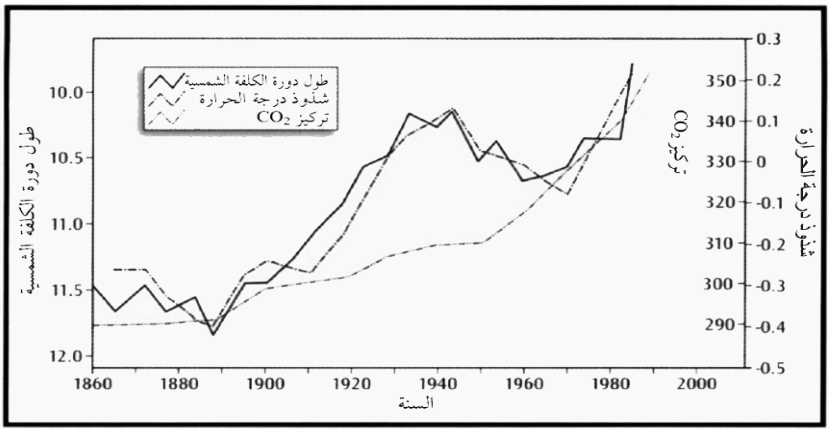
(576) L. K. Fenton, P. E. Geissler and R. M. Haberle, «Global Warming and Climate Forcing by Recent Albedo Changes on Mars,» *Nature*, vol. 446 (2007), pp. 646-649.

(577) P. S. Marcus, «Prediction of Global Climate Change on Jupiter,» *Nature*, vol. 428 (2004), pp. 828-831.

(578) D. H. Hathaway and R. M. Wilson, «What the Sunspot Record Tells us About Space Climate,» *Solar Physics*, vol. 224 (2004), pp. 5-19.

(579) G. Laughlin [et al.], «Rapid Heating of the Atmosphere of an Extrasolar Planet,» *Nature*, vol. 457 (2009), doi: 10.1038/nature07649.

الجيولوجي[580]. وكان تركيز CO_2 فيما مضى أعلى بخمس وعشرين مرة من الآن. وكانت درجة الحرارة أعلى بعشر درجات مئوية من الآن. وكانت هناك أوقات ارتفعت فيها درجة الحرارة وتركيز CO_2 وأوقات ارتفعت فيها درجة الحرارة، فيما انخفض تركيز CO_2 الجوي. . . وليس الأمد الزمني دقيقاً بما فيه الكفاية خلال الزمن الجيولوجي لتحديد إن كانت درجة الحرارة هي التي حركت الازدياد في CO_2، كما تمّت معرفته مؤخراً من لب الجليد الذي وجد خلال الـ 800000 عام الماضية[581]. وليس هناك علاقة بين درجة الحرارة وCO_2 في الأزمنة الحديثة، غير أن هناك علاقة قوية بين درجة الحرارة والنشاط الشمسي. وهنا يطرح السؤال الآتي: إذا كان المناخ لا علاقة له بالـ CO_2 الجوي خلال الـ 545 مليون عام الماضية، فكيف يمكن إذاً لمناخ اليوم أن يكون متعلقاً بـ CO_2 الجوي؟



الشكل 15: مخطط للزيادة والتناقص في درجة الحرارة (شذوذ درجة الحرارة) للسنين الـ 140 الماضية مقابل طول كلف الشمس (مثلاً للنشاط الشمسي). ويظهر في هذا علاقة. ولكن لا تظهر علاقة بين درجة الحرارة وتركيز CO_2. وهذا يظهر عدم صحة فرضية أن انبعاثات CO_2 تحدث احتراراً كونياً.

إن دورة الماء هي محرار لتغير المناخ على الأرض[582] مع تغيرات طاقة

(580) J. Veizer, Y. Godderis, and L. M. Francois, «Evidence for Decoupling of Atmospheric CO_2 and Global Climate during the Phaneroozoic Eon,» *Nature,* vol. 408 (2000), pp. 698-701.

(581) R. A. Berner, «Atmospheric Carbon Dioxide Levels Over Phanerozoic Time,» *Science*, vol. 249 (1990), pp. 1382-1386.

(582) N. J. Shaviv and J. Veizer, «Celestial Driver of Phanerozoic Climate,» *GSA Today*, vol. 13 (2003), pp. 4-10.

هائلة مطلوبة لذوبان الجليد، وتبخر الماء والترسب. فدورة الكربون لا تحرك المناخ، فهي تظهر على هامش دورة الماء[583][584][585].

يتلازم المناخ بعلاقة وثيقة بالنشاط الشمسي. فهل يمكن رد تغيرات المناخ إلى تغيرات في النشاط الشمسي أكثر مما يمكن توقعه من الإشعاع الشمسي؟ عندما يزداد النشاط الشمسي، يشتد المجال المغنطيسي الضعيف الذي تحمله الرياح الشمسية (حيث تعطي وقاءً للأرض من أشعة كونية مَجريِّة قليلة الطاقة)، وهناك انخفاض في إنتاج الأيونات الذي تسببه الأشعة الكونية في الغلاف الجوي السفلي، ينتج منه نوى تكاثف أقل، وبالتالي غطاء غيوم منخفض المستوى يسمح باصطدام مزيد من الإشعاع الشمسي على الأرض، مما يزيد في درجة حرارة السطح.

حدّد شافيف[586] (Shaviv) ست فترات لتاريخ الأرض (الفانيروزويك الكلي «The Entire Phanerozoic»، وكريتاكيوس «Cretaceous»، وأيوسين «Eocene»، والفترة الجليدية القصوى الأخيرة، والقرن العشرين) ودورة الـ 11 عاماً الشمسية (كما تظهر خلال القرون الثلاثة الماضية). وقد حسب شافيف من خلال مجموعات مدى زمني مختلفة التغيرات في القوة الإشعاعية، وانسياب درجة الحرارة والإشعاع الكوني. وباستعمال بيانات الإشعاع الشمسي[587][588][589]، أثبتت نتائج شافيف[590] الازدياد في درجة الحرارة

---

(583) R. A. Lovett, «Global Warming: Rain Might be the Leading Carbon Sink Factor,» *Science*, vol. 296 (2002), p. 1787.

(584) U. Neff [et al.], «Strong Coherence Between Solar Variability and the Monsoon in Oman Between 9 and 6 kya Ago,» *Nature*, vol. 411 (2001), pp. 290-293.

(585) D. Lee, and J. Veizer, «Water and Carbon Cycles in the Mississippi River Basin: Potential Implications for the Northern Hemisphere «Residual Terrestrial Sink»,» *Global biogeochemical Cycles*,vol. 17 (2003), doi:10.1029/2002GB001984.

(586) N. J. Shaviv, «On Climate Response to Changes in the Cosmic Ray Flux and Radiative Budget,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 110(A8) (2005), A08105.1-A080105.15, doi: 10.1029/2004JA010866.

(587) D. V. Hoyt and K. H. Schatten, «A Discussion of Plausible Solar Irradiance Variations, 1700-1992,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 98 (1993), pp. 18895-18906.

(588) J. Lean, J. Beer and R. Bradley, «Reconstruction of Solar Irradiance since 1610- Implications for Climate Change,» *Geophysical Research Letters*, vol. 22 (1995), pp. 3195-3198.

(589) S. K. Solanskiand M. Fligge, «Solar Irradiance Since 1874 Revisited,» *Geophysical Research Letters*, vol. 25 (1998), pp. 341-344.

(590) استمد شافيف من مجموعات البيانات هذه وظائف توزيع الاحتمال لحساسية درجة حرارة الأرض =

(0.10 درجة مئوية) الذي حسبه إدسو (Idso)(1998)[591] وعزا سببه فقط إلى زيادة تركيز CO_2 في الهواء في القرن العشرين (75 ppmv، أجزاء من المليون بحسب الحجم)[592]. وتقترح تحليلات شافيف وإدسو المستقلة أن حدّاً أقصى بنسبة 15 ـ 20 في المئة (0.10 درجة مئوية من 0.57 درجة مئوية) من الاحترار الملاحظ في القرن العشرين يمكن نسبه إلى الارتفاع الملازم في محتوى CO_2 في الهواء.

تظهر ملاحظات ضمن مدى زمني تاريخي، وآركيولوجي، وجيولوجي أن المحرك الرئيس للمناخ سماوي الأصل[593]، وأن غازات الدفيئة تعمل فقط كمكبرات. وينسب إلى النشاط الشمسي 80 في المئة من التغيرات في درجة الحرارة الكونية خلال السنين الـ 150 الماضية، وأن لدورة الكربون الصغيرة أثراً صغيراً في دورات الماء الكبيرة (بما فيها الغيوم). ويمكن تكبير اتجاهات المناخ الطبيعي أو تعديلها بالـ CO_2، ولكن CO_2 ليس المحرك الرئيس للمناخ.

فإذا كان النشاط الشمسي هو المحرك الرئيس للمناخ، فبإمكاننا أن نرى ذلك في قياسات درجة حرارة السطح بعيداً من المناطق المدينية والصناعية. وإننا نرى ذلك فعلاً. ويظهر سجل قياس درجة حرارة هواء السطح لمدة 130 عاماً في القطب الشمالي تغيرات في درجة الحرارة يمكن ربطها بالتغيرات في نشاط الشمس[594].

= الكلية نحو القوة الإشعاعية لكل من الفترات الست وجمعها للحصول على متوسط كوكبي لحساسية درجة الحرارة للقوة الإشعاعية التي مقدارها $0.28\ C/W/m^2$. وبملاحظة أن IPCC قالت إن الازدياد في القوة الإشعاعية خلال القرن العشرين كان $0.5\ W/m^2$، حسب شافيف أن الاحترار الأنتروبوجيني للأرض كان خلال هذه الفترة 0.14 درجة مئوية ($0.5\ W/m^2 \times 0.28\ C/W/m^2$). وبناءً على معلومات أشارت إلى ازدياد في القوة الإشعاعية سببها النشاط الشمسي مقداره $1.3\ W/m^2$ خلال القرن العشرين (عن طريق تخفيض تدفق الأشعة الكونية) إضافةً إلى أعمال آخرين، حسب شافيف ازدياد متوسط نور شمسي عالمي بحوالى $0.4\ W/m^2$ للفترة نفسها. وحسب شافيف احتباس سببه شمسي بمقدار 0.47 درجة مئوية ($1.7W \times 0.28\ W/m^2$) وحسب الاحترار خلال القرن العشرين بمقدار 0.61 درجة مئوية. وقد لاحظ شافيف أن ذلك قريب لزيادة مقدارها 0.57 درجة مئوية ادعت IPCC أنها لوحظت خلال القرن الماضي. وتقترح تحليلات شافيف وإدسو المستقلة أن حداً أقصى نسبته 15–20 في المئة (0.10 إلى 0.57 درجة مئوية) من الاحترار الملاحظ للقرن العشرين يمكن نسبته إلى الارتفاع الملازم لمحتوى CO_2 في الهواء.

(591) S. B. Idso, «CO_2-Induced Global Warming: A Skeptic's View of Potential Climate Change,» *Climate Research,* vol. 10 (1998), pp. 69-82.

(592) سيتم اختصارها بـppmv لبقية الكتاب.

(593) J. Veizer, «Celestial Climate Driver: A Perspective from Four Billion Years of the Carbon Cycle,» *Geoscience Canada*, vol. 32 (2005), pp. 13-28.

(594) =W. H. Soon, «Variable Solar Irradiance as a Plausible Agent for Multidecadal Variations

علامات قديمة عن النشاط الشمسي Ancient Signals of Solar Activity

يظهر لب الجليد في غرينلاند أن درجة الحرارة كانت أدفأ عام 1000 وهذا اللب نفسه يظهر فترتين باردتين جداً في عام 1550 و1850 خلال العصر الجليدي الصغير، إذ كانت درجة الحرارة أبرد من الآن بـ 0.7 إلى 0.9 درجة مئوية. وارتفعت درجة الحرارة بعد العصر الجليدي الصغير، حتى سنة 1930 ثم انخفضت حتى عام 1995 (وهو العام الذي انتهت فيها الدراسة)[595]. ويظهر أن المناخ القاري لغرينلاند قد انتهك، كما أظهر ذلك لب الترسبات في ممر بحري ضيق (Fjord) شرق غرينلاند، فقد أظهر هذا اللب أن ابترادا حصل بعد عام 1300 وظروفاً مناخية متغيرة وشديدة جداً من 1630 إلى 1900[596]. وقد لا تبدو هذه التغيرات في درجة الحرارة في غرينلاند، كبيرة فقد تغيرت درجات الحرارة في أماكن أخرى إلى حد 6 درجات مئوية خلال الـ 8000 عام الماضية، وقد سجلت هذه التغيرات على ساحل ألاسكا باستعمال كائنات مجهرية من طائفة وحيدات الخلية[597].

وفرت هذه المعطيات مؤشراً جيداً لدرجة حرارة السطح وغطاء جليد البحر، اللذين تغيرا في العصر الجليدي الصغير. كما أظهرت دراسات النباتات أن درجة حرارة يابسة ألاسكا كانت تتغير أيضاً أكثر مما تتغير في غرينلاند. وكانت درجات الحرارة الصيفية ما بين الجليدية أعلى بدرجة أو درجتين مئويتين من الآن، وفي بعض المواقع، كانت درجة حرارة الصيف أدفأ بخمس درجات مئوية[598]. وأظهرت تشوهات التربة في المياه المتجمدة والمنصهرة في شمال كيبك (Quebec) أنه كان هناك برد شديد بين عامي 1500 و1900[599].

---

in the Arctic-Wide Surface Air Temperature Record of the Past 130 Years,» *Geophysical Research = Letters*, vol. 32 (2005), L16712: 10.1029/2005GL023429.

(595) D. Dahl-Jensen [et al.], «Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 268-271.

(596) A. E. Jennings and N. J. Weiner, «Environmental Change in Eastern Greenland During the Last 1,300 Years: Evidence from Foraminifera and Lithofacies in Nansen Fjord, 68N,» *The Holocene*, vol. 6 (1996), pp. 171-191.

(597) D. Darby, «New Record Shows Pronounced Changesin Arctic Ocean Circulation and Climate,» *EOS*, vol. 82 (2001), pp. 601-607.

(598) D. R. Muhs, T. A. Ager and J. E. Beget, «Vegetation and Palaeoclimate of the Last Interglacial Period, Central Alaska,» *Quaternary Science Reviews,* vol. 20 (2001), pp. 41-61.

(599) J. N. Kasper and M. Allard, «Late Holocene Climatic Changes as Detected by Growth and Decay of Ice Wedges on the Southern Shore of Hudson Strait, Northern Quebec, Canada,» *The Holocene*, vol. 11 (2001), pp. 563-577.

وقد لوحظ في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية دلائل على تغيرات شمسية تحكمت بالعصر الجليدي الصغير في الآنديز الاستوائية[600]، ما يدل على أن العصر الجليدي الصغير كان حدثاً عالمياً حرّكه النشاط الشمسي. وهكذا يمكن أن يكون التقدم والتراجع للتجلدات الأرضية في جنوب أميركا متعلقاً مباشرة بالنشاط الشمسي[601]، وهذا يبيّن مرةً أخرى أن التغيرات المناخية الحديثة كانت أحداثاً عالمية حرّكها النشاط الشمسي.

يترك الجليد المذاب بقايا. وتشكل المياه بالبقايا سدوداً تحتجز بحيرات جليدية. وتتجمد البحيرات الجليدية في الشتاء ويذوب جليد السطح في الصيف. وينتج من ذلك دورة شتوية ـ صيفية من ترسبات البحيرات ودورات جليدية وما بين جليدية. هذا وتظهر البحيرات الجليدية في السويد علاقة قوية بنشاط الأشعة الكونية (وبالتالي النشاط الشمسي)[602].

أظهر استعمال طريقة إعادة تركيب درجات الحرارة في النصف الشمالي للكرة الأرضية[603]، وثلاثة مسببات بديلة لخرج الطاقة الشمسية[604][605][606]، وطريقة لجعل نماذج تغيرات شمسية[607][608] وجود علاقة واضحة بين درجة الحرارة العالمية ومنحنيات درجة الحرارة التي تسبّبها الشمس.

---

(600) P. J. Polissar [et al.], «Solar Modulation of Little Ice Age Climate in the Tropical Andes,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 103 (2006), pp. 8937-8942.

(601) D. C. Douglass [et al.], «Evidence of Early Holocene Glacial Advances in Southern South America from the Cosmogenic Surface-Exposure Dating,» *Geology*, vol. 33 (2005), pp. 237-240.

(602) I. Snowball and P. Sandgrena, «Geomagnetic Filed Variations in Northern Sweden During the Holocene Quantified from Varved Lake Sediments and their Implications for Cosmogenic Nuclide Production Rates,» *The Holocene*, vol. 12 (2002), pp. 517-530.

(603) A. Moberg, «Highly Variable Northern Hemisphere Temperatures Reconstructed from Low- and High-Resolution Proxy Data,» *Nature*, vol. 433 (2005), pp. 613-617.

(604) J. Lean, J. Beer and R. Bradley, «Reconstruction of Solar Irradiance Since 1610: Implications for Climate Change,» *Geophysical Research Letters*, vol. 22 (1995), pp. 3195-3198.

(605) J. Lean, «Evolution of the Sun's Spectral Irradiance Since the Maunder Minimum,» *Geophysical Research Letters*, vol. 27 (2000), pp. 2425-2428.

(606) Y. -M. Wang, J. L. Lean and N. R. Sheeley, Jr., «Modelling the Sun's Magnetic Field and Irradiance Since 1713,» *The Astronomical Journal*, vol. 625 (2005), pp. 522-538.

(607) N. Scarfetta, and B. J. West, «Estimated Solar Contribution to the Global Surface Warming Using ACRIM TSI Satellite Composite,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), doi: 10.1029/2005GL025539.

(608) N. Scarfetta and B. J. West, «Phenomenological Solar Contribution to the 1900-2000 Global Surface Warming,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), doi: 10.1029/2005GL025539.

وفي عام 641 ركب جهاز لقياس مستوى الماء في جزيرة الروضة (رودا) في نهر النيل بالقاهرة. وقد زودنا هذا المقياس بأطول سجل متواصل لقياس مستوى الأنهار في العالم. وقد أظهرت تحليلات 1080 عاماً وجود دورة من 21 عاماً ترتبط بنشاط الكلف الشمسي[609]. كما أظهر تحليل هذه السجلات من 622 ـ 1470 وجود دورات من 11 عاماً ودورات من 88 عاماً متوافقة مع دورات هيل (Hale) وغلايسبرغ (Gleissberg) الشمسية[610]. وتتعلق دورات نهر النيل التي مدتها 21 عاماً ببيانات أخرى من أفريقيا، بما فيها بيانات ترسبات بحيرات (خلال فترة 2000 عام)، وحلقات أشجار 900 عام)، ودرجات حرارة (175 عاماً)، وهطول أمطار (121 عاماً) وأسعار القمح 1080 عاماً)[611].

يرتفع نهر النيل في البحيرات الاستوائية الكبيرة في شرق أفريقيا (بحيرة تانا (Tana)، وإثيوبيا، وبحيرة فكتوريا، وتانزانيا، وأوغندا وكينيا). وإن المناخ القديم لأفريقيا متعلق بتغير المناخ في المحيط الهندي والمحيط الأطلسي وتاريخ هطول المطر الأفريقي، كما إن مستوى الأنهار والبحيرات متعلق مباشرةً بالنشاط الشمسي[612]. فهناك علاقة بين الدورات الشمسية ومستوى المياه في بحيرة فكتوريا (أكبر بحيرة في أفريقيا)[613]، ونهر الزامبيزي (Zambesi) (ثالث أكبر نهر في أفريقيا)[614][615] ونهر بارانا[616][617](Parana) في جنوب أميركا

(609) H. E. Hurst, «Long Term Storage Capacity of Reservoirs,» *Transactions of the American Society of Civil Engineers* (1951), paper 2447.

(610) A. Ruzmaikin, J. Feynman and Y. L.Yung, «Is Solar Variability Reflected in the Nile River?» *Journal of Geophysical Research*, vol. 111 (2006), D21114, doi: 10.1029/2006JD007462.

(611) H. E. Hurst, «Measurement and Utilization of the Water Resources of the Nile Basin,» *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, vol. 3 (1954), part III, pp. 1-26.

(612) A. Ruzmaikin, J. Feynman and Y. L. Yung, «Is Solar Variability Reflected in the Nile River?,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 111 (2006), D21114, doi: 10.1029/2006JD007462.

(613) J. C. Sager [et al.], «Solar Variability and the Levels of Lake Victoria, East Africa, During the Last Millennium,» *Journal of Paleolimnology*, vol. 33 (2005), pp. 243-251.

(614) T. G. J. Dyer, «On the Eleven-Year Solar Cycle and River Flow,» *Water*, SA 4 (1978), pp. 157-160.

(615) P. D.Tyson [et al.], «Millenial to Multi-Decadal Variability in the Climate of Southern Africa,» *International Journal of Climatology,* vol. 22 (2005), pp. 1105-1117.

(616) K. Arpe, U. Cubasch and R. Voss, «Use of Climate Models for Climate Change Investigations,» paper presented at: *Proceedings of the 1st Solar and Space Weather Euroconference*, edited by A. Wilson, 25-29 September 2000, Tenerife, Spain, Noordwijk, pp. 233-241.

(617) P. Mauas and E. Flamenco, «Solar Activity and the Streamflow of the Parana River,» *Memoirs of the Astronomical Society of Italy*, vol. 76 (2003), pp. 1002-1003.

(خامس أكبر نهر في العالم). وإن للبحيرات في شرق أفريقيا مساحة كبيرة وهي ضحلة، وتستجيب بالتالي بسرعة إلى تغيرات المناخ الخفيفة.

أظهر تحليل لاحق عن أكبر نهر في جنوب أفريقيا في فال دام (Vaal Dam) نوعاً من الدورات لنهر فال مع نشاط الكلف الشمسي[618]. واستعملت هذه القياسات بنجاح لتوقع تغيرات ابتداء من الجفاف إلى الفيضان في عام 1995[619] ثم مرة أخرى عام 2006[620]. وكانت أحداث فيضان رئيسية ارتبطت بالنصف الأول من دورة الكلف الشمسية الأولى وفي دورة كلف شمسية مضاعفة. وهذا يحصل عندما يكون معدل الازدياد في النشاط الشمسي في أعلى درجاته وهو أيضاً مرتبط بالاضطراب الجوي والمحيطي الكونيين. وهذا ولد العمليات التي أنتجت أحداث هطول أمطار ثقيلة تمخضت عن فيضان. وكانت دورة الكلف الشمسية الثانية حدث جفاف بامتياز. إن هذه الدورة المتراوحة بين الجفاف والمواسم الجيدة معروفة منذ أكثر من مئة عام، حيث تأتي عشر سنوات سمان تتبعها عشر سنوات عجاف[621]. وتحدث الظروف المتطرفة مع بداية الفترات (الفيضانات) ونهاية الفترات (جفاف) مع انعكاسات مفاجئة بين الجفاف والفيضانات. وهذه ليست مجرد أخبار ـ فالمصريون القدماء كانوا واعين جداً لسنوات الخير التي تتبعها سنوات مجاعة.

وجد في شمالي إيطاليا وفي حوض بو (Po basin) وهناك أكثر من 100 عام من صرف نهر البو (Po River) بالإضافة إلى تساقط الأمطار المستمر وتجمعها في هذا الحوض الذي تبلغ مساحته 75000 كيلومتر مربع أن هنالك علاقة بين مستوى الماء في الحوض والنشاط الشمسي. وهناك فترات متعاقبة من الجفاف والمطر نحو كل 20 عاماً[622].

---

(618) W. J. R. Alexander, Long Range Prediction of River Flow-a Preliminary Assessment, *Technical Report*, TR80, Department of Water Affairs, Pretoria, 1978.

(619) W. J. R. Alexander, «Floods, Drought and Climate Change,» *South African Journal of Science*, vol. 91 (1995), pp. 403-408.

(620) W. J. R. Alexander, «Linkages between Solar Activity and Climatic Responses,» *Energy and Environment*, vol. 16 (2005), p. 2.

(621) D. E. Hutchins, *Cycles of Dought and Good Seasons in South Africa* Wynberg, South Africa: Times Office, 1889).

(622) D. Zanchettin [et al.], «Impact of Variations in Solar Activity on Hydrological Decadal Patterns in Northern Italy,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 113 (2008), D12102, doi: 10.1029/2007Jd009157.

ثمة ادعاءات تقول إن الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان سيزيد التغير في العمليات الهيدرولوجية، وبخاصة الفيضانات، والجفاف، وإمدادات المياه. غير أن الجفاف يحدث عادة في فترات ابتراد عالمي تحركها الشمس[623]. وتكون الرياح أشد في فترات الجفاف، وينتج منها تراكم الرمال التي تذروها الرياح[624]. ولم تدعم الادعاءات بأن الكوارث ناتجة من الاحترار ببرهان على أن الاحترار الكوني سيغير سلسلة الجفاف/المطر، ودورية هذه السلسلة بالإضافة إلى شدة الجفاف/الفيضان. ولا تستعمل نماذج تغير المناخ السلاسل الموثقة جيداً، والمتعددة السنوات، والمتعاقبة، للعمليات الهيدرولوجية التي أظهرت فترة دورية من 21 عاماً في بيانات أفريقيا. وقد بيّن تنوع من مجموعات البيانات ترابطاً متزامناً غير غامض بين نشاط الكلف الشمسية والمناخ. فلماذا يتوقف هذا الأثر الأساسي الآن ولا يستمر كمحرّك لتغير المناخ في المستقبل؟

إن توقعات عن تغير شمسي كهذا وتغير المناخ المصاحب له مدعومة بدراسات عن المناخ القديم[625]. وقد كانت تغيرات في الكثافة الشمسية هي المحركات الرئيسية لتغيرات مئوية السنين ـ إلى مدى عقود من هطول الأمطار الاستوائية وشدة الرياح الموسمية قبل 9000 إلى 6000 عام في عمان. كما أظهرت دراسات عن تغيرات في العالم القديم أن التغيرات في النشاط الشمسي كان لها أثر عميق في الثقافة الإنسانية[626]. ويظهر استعمال مسببات المناخ علاقة بين هطول الأمطار في جبال الألب الشرقية في أوروبا[627]، والرياح الموسمية في شرق آسيا[628]، وتساقط الأمطار في الولايات المتحدة

(623) R. K. Booth [et al.], «A Severe Centennial-Scale Drought in Midcontinental North America 4200 Years Ago and Apparent Global Linkages,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 321-328.

(624) M. G. Jackson [et al.], «Holocene Loess Deposition in Iceland: Evidence for Millennial-Scale Atmosphere-Ocean Coupling in the North Atlantic,» *Geology*, vol. 33 (2005), pp. 509-512.

(625) U. Neff [et al.], «Strong Coherence between Solar Variability and the Monsoon in Oman Between 9 and 6 Kya Ago,» *Nature*, vol. 411 (2001), pp. 290-293.

(626) J. Feynman, «Has Solar Variability Caused Climate Change that Affected Human Culture» *Advances in Space Research*, vol. 40 (2007), pp. 1173-1180.

(627) W. Kofler [et al.], «Vegetation Responses to the 8200 Cal. BP Cold Event and to Long-Term Climatic Changes in the Eastern Alps: Possible Influence of Solar Activity and North Atlantic Freshwater Pulses,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 779-788.

(628) Y. Wang [et al.], «The Holocene Asian Monsoon: Links to Solar Changes and North Atlantic Climate,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 854-857.

الأميركية[629]، والنشاط الشمسي. وهناك علاقة جوية مباشرة بين مناخ غرينلاند البعيدة جداً عن خط الاستواء ومناخ بحر إيجة. وتتبع درجة حرارة سطح بحر إيجة وكثافة الشتاء/الربيع في أعالي سيبيريا الدورات الشمسية[630].

أظهر ثقب ترسبات في قاع بحيرة أوسا (Ossa) في الكاميرون أن الهائمات (الكائنات المجهرية العائمة) استجابت لمناخ متأرجح، وأن التذبذبات تحصل ضمن دورة من 1500 عام (دورة دانسغارد ـ أوشغر) ولهذه الدورة علاقة بالتحركات الشمالية والجنوبية لنطاق التجمع داخل الاستوائي[631] (The Intertropical Convergence Zone or ICZ). وأن هذا النطاق حزام يلف المناطق الاستوائية. ترفع الطاقة الشمسية والمياه الدافئة في هذا الحزام من رطوبة الهواء. ويؤثر اندفاع الحزام نحو الشمال والجنوب في التغيرات المنتجة لهطول المطر في المواسم الجافة والممطرة في المناطق الاستوائية. هذا وتظهر بحيرة «أوسا» أن الاندفاع نحو الجنوب في نطاق التجمع الاستوائي يحدث هطولاً قليلاً للمطر في المناطق الشمالية الاستوائية (على سبيل المثال، غانا، ونيجيريا) وهطولاً كثيراً للمطر في النطاق تحت خط الاستواء (على سبيل المثال، زائير، وتنزانيا، وبحيرة ملاوي)[632].

فإذا كانت دورة الـ 1500 عام كونية، يجب على البحيرات في الكاميرون ألاّ تظهر صفات دورية فقط، بل ويتوجب على البحيرات في أماكن أخرى أن تظهر هذه الدورات. وعلى أنظمة البحيرات أن تعكس دورة «دانسغارد ـ أوشر» المناخية مع مستويات عالية خلال الابتراد المناخي (فيكون هناك هطول كثيف للمطر وقليل من التبخر)، ومستويات منخفضة خلال الفترات الدافئة. وتبقى مناطق السواحل الرملية القديمة التي تحوي بقايا كائنات إحدى طرق توثيق تغيرات مستوى البحيرات.

---

(629) Y. -X. Li, Z. Lu and K. P. Kodama, «Sensitive Moisture Response to Millennial-Scale Climate Variations in the Mid-Atlantic Region, USA,» *The Holocene*, vol. 17 (2007), p. 308.

(630) E. Rohling, «Holocene Atmosphere-Ocean Interactions: Records from Greenland and the Aegean Sea,» *Climate Dynamics*, vol. 18 (2002), pp. 587-593.

(631) V. F. Nguestop, S. Servant-Vildary and M. Servant, «Late Holocene Climatic Changes in west Africa, a High Resolution Diatom Record from Equatorial Cameroon,» *Quaternary Science Reviews*,vol. 23 (2004), pp. 591-609.

(632) M. L. Filippi and M. R. Talbot, «The Palaeolimnology of Northern Lake Malawi Over the Last 25 ka Based on the Elemental and Stable Isotopic Composition of Sedimentary Organic Matter,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 24 (2004), pp. 1303-1328.

وتعكس الابتراد مستويات المياه العالية في البحيرات الكبيرة في الولايات المتحدة الأميركية قبل 1100 إلى 300 عام قبل الميلاد، ويعكس الاحترار الروماني مستويات المياه المنخفضة من 300 عام قبل الميلاد إلى 100 عام بعد الميلاد. هذا، وتعكس العصور المظلمة ارتفاع مستوى المياه من عام 100 إلى عام 900[633]. وتعكس المياه المرتفعة أيضاً بين 1300 و1600 العصر الجليدي الصغير[634].

تظهر ترسبات البحيرات من بحيرة نيوشاتل (Neuchatel) في سويسرا انخفاضاً مفاجئاً في درجة الحرارة بـ 1.5 درجة مئوية في نهاية احترار العصور الوسطى. وتظهر هذه الترسبات أيضاً أن متوسط درجات الحرارة السنوية في احترار العصور الوسطى كان أعلى من الآن[635]. وقد سمح احترار العصور الوسطى في بحر البلطيق ببقاء العوالق البحرية (Plankton) دون الاستوائية، والاستوائية. وعلى الرغم من احترار أواخر القرن العشرين، لم تعد هذه العوالق لأن بحر البلطيق لا يزال أبرد عمّا كان عليه في احترار العصور الوسطى. وقد بدلت كائنات المياه الباردة الصغيرة كائنات المياه الدافئة الصغيرة حوالى عام 1200 ميلادية. وقد عكس هذا التبديل الحيوي بداية العصر الجليدي الصغير[636].

تظهر البحيرات في سويسرا وفرنسا خمس عشرة مرحلة من مستويات بحيرات عالية (High Lake-Level Record) خلال السنين 12,000 الماضية. وتبين علاقات بين سجلات مستويات البحيرات في أوروبا[637][638] مع

---

(633) T. A. Thompson and S. J. Baedke, «Strandplain Evidence for Reconstructing Later Holocene Lake Events in the Lake Michigan Basin,» paper presented at: *Proceedings of the Great Lakes Palaeo-Levels Workshop: The last 4,000 Years*, edited by C. Sellinger and F. Quinn (US Department of Commerce, Ann Arbor, MI, 1999).

(634) C. E. Larsen, «A Stratigraphic Study of Beach Features on the Southwestern Shore of Lake Michigan: New Evidence of Holocene Lake Level Fluctuations,» *Illinois State Geological Survey Environmental Geology Notes*, vol. 112 (1985), p. 31.

(635) F. L. Filippi [et al.], «Climatic and Anthropogenic Influence on Stable Isotope Record from Bulk Carbonates and Ostracodes in Lake Neufchatel, Switzerland, During the Last Two Millennia,» *Journal of Palaeolimnology*, vol. 21 (1999), pp. 19-34.

(636) E. Andren, T. Andren and G. Sohlenius, «The Holocene History of the Southwestern Baltic Sea as Reflected in a Sediment Core from the Bornholm Basin,» *Boreas*, vol. 29 (2000), pp. 233-250.

(637) S. P. Harrison, I. C. Prentice, and J. Guiot, «Climate Controls on Holocene Lake-Level Changes in Europe,» *Climate Dynamics*, vol. 8 (1993), pp. 189-200.

(638) G. Digerfeldt, «Reconstruction and Regional Correlation of Holocene Lake-Level Fluctuations in Lake BysjSouth Sweden,» *Boreas*, vol. 17 (1988), pp. 165-182.

النباتات[639][640] وسجلات الجليد[641]، وأحداث الاندفاع جنوباً لجليد شمال الأطلسي[642]، وسجلات C^{14} وفي حلقات الأشجار، ومواقع آركيولوجية، أن تغيرات ضئيلة جداً في النشاط الشمسي[643] أصدرت تغيرات كبيرة في المناخ في منطقة شمال الأطلسي خلال السنوات الـ 12,000 الماضية[644].

هنالك طريقة أخرى للنظر إلى تغيرات النشاط الشمسي توثق من خلال كائنات بحرية صغيرة حساسة جداً لدرجة حرارة سطح المحيط وضوء الشمس. وترى هذه العلاقة ودورة الـ 1500 عام في كائنات مجهرية (عوالق) عاشت فوق سطح بحر سارغاسو[645]. وقد تأثرت رياح السطح وتغيرات السطح في المحيط الأطلسي في المنطقة دون القطبية بطاقة شمسية للسنين الـ 30000 الماضية. كما أن إنتاج C^{14} وBe^{10}، المستمد من الأشعة الكونية، حصل ضمن دورات الـ 1500 عام. ظهرت هذه الدورات في درجات حرارة مياه سابقة استدل بها من خلال الترسبات البحرية، واندفاعات جنوبية في الجليد المنصهر، وتغيرات في عمق مياه شمال الأطلسي. ثم أعيد بناء سجل درجة حرارة عمره 3000 عام للبحر النرويجي باستعمال أحفوري صغيرة من لب ترسبات قاع البحر[646]. وأظهر هذا اللب الفترات الباردة والدافئة الرئيسية خلال السنين الـ 3000 الماضية، وأظهر أيضاً أن وجود درجات حرارة سطح أعلى من درجة الحرارة الحالية كان أمراً

(639) J. -L. de Beaulieu, R. H. Ruffaldi and J. Clerc, «History of Vegetation, Climate and Human Action in the French Alps and the Jura over the Last 15,000 Years,» *Dissertationes Botanicae*, vol. 234 (1994), pp. 253-276.

(640) M. Friedrich [et al.], «Paleo-Environment and Radiocarbon Calibration as Derived from Late Glacial/Early Holocene Tree-Ring Chronologies,» *Quaternary International,* vol. 61 (1999), pp. 27-39.

(641) R. C. Finkel and K. Nishiizumi, «Beryllium 10 Concentrations in the Greenland Ice Sheet Project 2 Ice Core for 3-40 Ka,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 102 (1997), pp. 26699-26706.

(642) R. Muscheler [et al.], «Changes in Deep-Water Formation during the Younger Cryas Event Inferred from ^{10}Be and ^{14}C Records,» *Nature*, vol. 408 (2000), pp. 567-570.

(643) S. Björck [et al.], «High Resolution Analysis of an Early Holocene Climate Event May Imply Decreased Solar Forcing as an Important Climate Trigger,» *Geology*, vol. 29 (2001), pp. 1107-1110.

(644) M. Magny, «Holocene Climate Variability as Reflected by Mid-European Lake-Level Fluctuations and its Probable Land Settlements,» *Quaternary International,* vol. 113 (2003), pp. 65-79.

(645) L. Keigwin, «The Little Ice Age and Medieval Warm Period in the Sargasso Sea,» *Science*, vol. 274 (1996), pp. 1503-1508.

(646) C. Anderson [et al.], «Late Holocene Surface Ocean Conditions of Norwegian Sea (Voring Plateau),» *Palaeoceanography*, vol. 18 (2003), doi: 10.1029/2001PA000654.

شائعاً. وأظهرت كائنات طافية محفوظة كأحفوري للسنين الـ 200000 الماضية في ترسبات قاع البحر في بحر سولو (Sulu) بالقرب من الفيليبين دورة من 1500 عام، بالإضافة إلى تاريخ الرياح[647].

أعطي لب الترسبات البحرية في خليج كاليفورنيا الذي يمثل فترة 2000 عام من الترسبات رؤية عالية الوضوح. حيث إن كل طبقة من ترسب تغير سبعة إلى ثلاثة وعشرين عاماً. كما بيّنت دورات منفصلة من الكائنات العائمة الحساسة لدرجة حرارة سطح البحر المنخفضة (Octactis pulchra) وحرارة المياه الاستوائية الدافئة (Azpeitia nodulifera) أثراً شمسياً على صعود الماء الساحلي (Upwelling) (على سبيل المثال، ارتفاع مياه المحيط العميقة إلى السطح)[648]. ويبدو أن التغير الشمسي يحرك دورات إنتاج هذه الكائنات المجهرية تماماً كما تتعلق فترات إنتاج C^{14} المتزايدة بفترات الإنتاج المعززة. ويسبب الابتراد الشتائي المتزايد في جنوب غرب الولايات المتحدة الأميركية خلال فترة أوطأ كلف شمسي، تكثيفاً للرياح الشمال غربية التي تنفخ في الخليج خلال أواخر الخريف إلى أوائل الربيع. ويؤدي هذا إلى تقلب مكثف لمياه السطح وإنتاج معزز لها.

إن نظام مناخ الأرض حساس جداً تجاه الاضطرابات الضعيفة في نتاج طاقة الشمس ضمن مجموعات من العقود والألفيات. وإن تغيرات بنسبة 0.1 في المئة من النشاط الشمسي خلال دورة الكلف الشمسية ذات الـ 11 عاماً تسبّب تغيرات عميقة في المناخ[649]. كما إن دورة السنين الـ 1500 سريعة الانتشار لنظام المناخ المرتبط بالإشعاع الشمسي، كانت متوقعة منذ أكثر من ثلاثة عقود[650]. وهذا ينافي الحاجة إلى القول بوجود اهتزازات داخلية مجبرة في دورة المحيط العميق[651] أو وجود تعديلات طويلة الأمد وداخلية وقوية في

(647) T. De Garidel-Thoron and L. Beaufort, «High Frequency Dynamics of the Monsoon in the Sulu Sea during the Last 200,000 Years,» *EGS General Assembly* (Nice) (April 2000).

(648) J. A. Barron and D. Bukry, «Solar Forcing of Gulf of California During the Past 2000 Yr Suggested by Diatoms and Silicoflagellates,» *Marine Micropalaeontology,* vol. 62 (2006), pp. 115-139.

(649) G. Bond [et al.], «Persistent Solar Influence in North Atlantic Climate During the Holocene,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 2130-2136.

(650) G. H. Denton and W. Karlen, «Holocene Vlimatic Variations: Their Pattern and Possible Cause,» *Quaternary Research,* vol. 3 (1973), p. 155.

(651) W. S. Broecker, S. Sutherland and T. - H. Peng, «Possible 20th Century Slowdown of Southern Ocean Deep Water Formation,» *Science,* vol. 286 (1999), pp. 1132-1135.

التغير الجوي كآليات ضاغطة رئيسية[652]. فعلى سبيل المثال، أظهرت دراسة إحصائية أن اهتزازات إلـ نينيو (El Niño) الجنوبية حددت الدورة الشمسية ذات الـ 11 عاماً[653]. كما يسجل الطقس في مناطق متوسطة البعد عن خط الاستواء وفي الأطلسي تغيراً، وفي طرق العواصف (تذبذبات شمال الأطلسي)[654]. ويمكن أن تكون هذه التغيرات في النشاط الشمسي نذيراً لتغيرات في تذبذبات شمال الأطلسي، وهي جزء من النموذج العالمي الممتد من سطح الأرض إلى طبقة الستراتوسفير[655][656].

أظهرت مكونات الأمطار المحفوظة في الصواعد (Stalagmites) في شبه الجزيرة العربية أيضاً دورات شمسية[657]. وأعطى التركيب الكيميائي لأكسجين الأصداف العائمة التي تنزل عميقاً في ترسبات المحيط بعد أن تموت، والغبار الذي تنفثه الرياح في مناطق قريبة من خط الاستواء حيث لم يتشكل جليد البحر لأكثر من 600 مليون عام، القصة ذاتها لدورات السنين الـ 1500. إن ترسبات قاع البحر منجم ثمين من المعلومات التأريخية. وإن الكائنات التي تعوم، والعوالق، حساسة جداً لتغيرات درجة الحرارة. ويمكن لتغيرات درجة حرارة مياه السطح بأقل من درجة مئوية أن تسبّب تغيّراً في نوع العوالق إلى نوع آخر. كما إن كيمياء الأكسجين تخدم كثرموميتر دقيق جداً. وأعطى لباب من قاع البحر العربي، في غرب كراتشي سجلاً من 5000 سنة، كما أظهر دورة الـ 1500

---

(652) M. Cane and A. Clement, «A Role for the Tropical Pacific Coupled Ocean-Atmosphere System in Milankovitch and Millennial Time Scales: Part II, Global Impacts,» in: *Mechanisms of Global Climate Change at Millennial Time Scales*, edited by P. Clark, R. Webb and L. D. Keigwin, Geophysical Monograph Series; 112 (1999), pp. 373-383.

(653) V. N. Kryjov and C. -Y. Park, «Solar Modulation of the El Niño/ Southern Oscillation Impact on the Northern Hemisphere Annular Mode,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L10701, doi: 10.1029/2006GL028015.

(654) R. M. Trigo, T. J. Osborn and J. M. Corte-Real, «The North Atlantic Oscillation Influence on Europe: Climate Impacts and Associated Physical Mechanisms,» *Climate Research,* vol. 20 (2002), pp. 9-17.

(655) C. Appenzeller, A. K. Weiss, and J. Staehelin, «North Atlantic Oscillation Modulates Total Ozone Winter Trends,» *Geophysical Research Letters*, vol. 27 (2000), pp. 1131-1134.

(656) J. Marshall [et al.], «North Atlantic Climate Variability: Phenomena, Impacts and Mechanisms,» *International Journal of Climatology*, vol. 21 (2001), pp. 1863-1898.

(657) U. Neff, «Strong Coherence between Solar Availability and Monsoon in Oman between 9 and 6 Kyr Ago,» *Nature*, vol. 411 (2001), pp. 290-293.

عام ذاتها المسجلة من لب جليد غرينلاند[658]. وفسرت هذه المعلومات على أنها تتعلق بالمد والجزر بدلاً من الأصل الشمسي.

بيّن سجل نظير الأكسجين العالمي[659] تغيراً دورياً مدته 4000 عام من مناخ القطب الشمالي ودورات جليدية تنتج من دوران الأرض المتغير حول الشمس. وترتفع درجة الحرارة وCO_2 مع بداية كل دورة. وهذا يترك مجالاً صغيراً لتأثير CO_2 الذي ينتجه الإنسان في المناخ.

وأظهرت الصواعد في كهف في وادي ماكبانزغات (Makapansgat) في جنوب أفريقيا أن المنطقة كانت أبرد بدرجة مئوية واحدة من الآن، بين الأعوام 1300 و1800. وكانت أخفض درجات حرارة مسجلة في جنوب أفريقيا في ماوندر وشبورر الادنيين[660]. وأمكن رؤية دورات مشابهة من المناخ والنشاط الشمسي من ترسبات الكهوف في الولايات المتحدة الأميركية[661]. وسجلت صواعد الكهوف في ساورلاند (Sawerland) في ألمانيا تاريخاً مدته 17600 عام ظهرت فيه احترارات حديثة (على سبيل المثال، احترار العصور الوسطى، والاحترار الروماني) وابترادات (على سبيل المثال، العصور المظلمة، والعصر الجليدي الصغير)، بالإضافة إلى تسجيل دورة 1500 عام[662]. وكان سجل الكهف الألماني مشابهاً جداً لسجل إيرلندا[663]، حيث أشار إلى أن تغيرات المناخ لم تكن محلية وإنما كونية.

إن النبات مؤشر شديد الحساسية لتغير المناخ. وإن قياس C^{14} في حلقات الأشجار مؤشر على النشاط الشمسي. وقد أظهرت الأعوام الـ 2000 الماضية

---

(658) W. H. Berger and U. von Rad, «Decadal to Millennial Scale Cyclicity in Varves and Turbidites from the Arabian Sea: Hypothesis of Tidal Origin,» *Global and Planetary Change*, vol. 34 (2002), pp. 313-325.

(659) M. E. Raymo, L. E. Lisiecki and K. H. Nisancioglu, «Plio-Pleistocene Ice Volume, Antarctic Climate, and the Global O^{18} Record,» *Science,* vol. 313 (2006), pp. 492-495.

(660) D. Tyson [et al.], «The Little Ice Age and Medieval Warming in South Africa,» *South African Journal of Science*, vol. 96 (2000), pp. 121-126.

(661) Y. Asmerom [et al.], «Solar Forcing of Holocene Climate: New Insights from a Speleotherm Record, Southwestern United States,» *Geology*, vol. 35 (2007), pp. 1-4.

(662) S. Niggeman [et al.], «A Palaeoclimate Record of the Last 17,600 Years in Stalagmites from B7 Cave, Sauerland, Germany,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 22 (2003), pp. 555-567.

(663) F. McDermont, «Centennial Scale Holocene Climate Variability Revealed by a High-Resolution Speleotherm O-18 Record from SW Ireland,» *Science*, vol. 294 (1999), pp. 1328-1333.

دورات 200 عام لـ C^{14} في حلقات الأشجار ومن شدة الرياح (محسوبة من مركب تحمله الرياح الهابة وترسبه في قاع البحيرات)[664]. وعادة يعلن عن تغيرات في النشاط الزوبعي (Cyclonic)، الدوري والرياح التروبوسفيرية (Tropospheric) بعد بضعة أيام من الوهج الشمسي[665][666]، ليظهر مرة أخرى أن الشمس تحكم الأرض.

بيّنت أحفوري غبار الطلع خلال الـ 14000 عام الماضية في شمال أميركا أن الحياة الخضرية (النباتية) مرت بتسع مراحل منفصلة من إعادة تنظيم ضمن دورة أمدها 1650 عاماً 500. وهذا الرقم يقترب من حيث رتبة دقته من دورات 1500 عام 500 الشمسية، ما يدل دلالة قوية على الأثر الشمسي[667]. ويدعم هذا مرةً أخرى النظرة القائلة إن هناك عدم استقرار في المناخ خلال فترات دافئة، وإن هناك مناخاً مضطرباً في فترات باردة. ويبيّن جدول بيانات الطبقات الغبارية الطلعية في شمال أميركا تحولات في النبات كل 1650 عاماً خلال السنين الـ 14000 الماضية. ولقد وقع أحدث تحول قبل 600 عام، وبلغ أوجه مع العصر الجليدي الصغير، حيث أقصى ابتراد قبل 300 عام. وبدأ التحول السابق قبل حوالى 1600 عام، وبلغ ذروته في الاحترار الأقصى في العصور الوسطى قبل 1000 عام[668]. وهذا يدل أيضاً دلالة أكيدة على حدث دوري (Cyclic Event) قبل 1500 عام 500. في أماكن أخرى من شمال أميركا تجاوبت الغابات مع أقصى درجات البرد في العصر الجليدي الصغير[669].

ويشير صنوبر ذيل الثعلب وعرعر جنوب جبال سبيرا نيفادا إلى أن الجو كان أدفأ من الآن بين عامي 1100 و1375 وأبرد من عام 1450 إلى 1850. وتظهر

---

(664) R. Y. Anderson, «Possible Connection between Surface winds, Solar Activity and the Earth's Magnetic Field,» *Nature*, vol. 358 (1992), pp. 51-53.

(665) P. E. Damon, S. Cheng and T. W. Linick, «Possible Connection between Surface Winds, Solar Activity and the Earth's Magnetic Field,» *Radiocarbon*, vol. 31 (1989), pp. 697-703.

(666) M. Stuiver [et al.], «Is there Evidence for Solar Forcing of Climate in the GISP2 Oxygen Isotope Record,» *Quaternary Research*, vol. 48 (1997), pp. 259-266.

(667) A. Viau [et al.], «Widespread Evidence of 1500-Yr Climate Variability in North America During the Past 14,000 Years,» *Geology,* vol. 30 (2002), pp. 455-458.

(668) المصدر نفسه، ص 455–458.

(669) I. D. Graumlich, «A 1,000-Year Record of Temperature and Precipitation in the Sierra Nevada,» *Quaternary Research*, vol. 39 (1993), pp. 249-255.

حلقات الأشجار في الصنوبر الأهلب على حدود كاليفورنيا نيفادا أن بعض الأشجار يزيد عمرها على 5500 عام. ومنذ عام 800 إلى الآن، تترابط متوسطات الـ 100 سنة لدرجات حرارة الصنوبر الأهلب إحصائياً مع درجات الحرارة المستمدة من مركز إنجلترا[670].

إذا كان النشاط الشمسي يحرك المناخ، فمن المتوقع إذن أن تكون هذه التغيرات أكثر انتشاراً. وهي في الحقيقة كذلك. ولقد أثر النشاط الشمسي في شمال الأطلسي، وعلى النباتات في جبال الألب الشرقية في أوروبا[671]. وكان له أثر عميق في نباتات الصين وسكانها[672]، وكان تغير المناخ في المناطق البعيدة جداً عن خط الاستواء في أوروبا مسألة حياة وموت بالنسبة إلى البشرية[673].

شعرت النباتات في جنوب أميركا أيضاً بآثار تغير المناخ، وبخاصة في العصر الجليدي الصغير. وقد زودتنا الطبقات الغبارية الطلعية من ترسبات بحيرات في البيرو بسجل مناخ ممتد لـ 4000 عام. يحتوي على الاحترار الروماني، الذي انخفض بعده هطول الأمطار خلال العصور المظلمة. وأشارت طبقة الغبار المتزايدة إلى درجات حرارة أدفأ في احترار العصور الوسطى، وإلى مزيد من الزرع والتنوع النباتي، كما أظهر انخفاضاً في طبقات الطلع في العصر الجليدي الصغير[674]. وأظهرت ترسبات بركانية في بحيرات في أماكن من أخرى من جنوب أميركا أن المناخ وهطول الأمطار تغيرا بسرعة مع ذروة العصر الجليدي الصغير[675].

---

(670) V. C. LaMarche, «Palaeoclimatic Interferences from Long Tree Ring Records,» *Science*, vol. 183 (1974), pp. 1043-1048.

(671) W. Kofler [et al.], «Vegetation Responses to the 8200 cal. BP Cold Event and to Long Term Changes in the Eastern Alps: Possible Influence of Solar Activity and North Atlantic Freshwater Pulses,» *The Holocene*, vol. 15 (2005), pp. 779-188.

(672) Y. Nagovitsyn, «Solar Activity during the Last Two Millennia: Solar Patrol in Ancient and Medieval China,» *Geomagnetism and Aeronomy*, vol. 41 (2001), pp. 680-688.

(673) M. Magny, «Holocene Climate Variability as Reflected by Mid-European Lake-Level Fluctuations and its Probable Impact on Prehistoric Human Settlements,» *Quaternary International*, vol. 113 (2004), pp. 65-79.

(674) A. J. Chepstow-Lusty [et al.], «Tracing 4,000 Years of Environmental History in the Cuzco area, Peru, from the Pollen Record,» *Mountain Research and Development*, vol. 18 (1988), pp. 159-172.

(675) V. L. Valero-Garces [et al.], «Palaeohydrology of Andean Saline Lakes from Sedimentological and Isotopic Records, Northwestern Argentina,» *Journal of Palaeolinmilogy*, vol. 24 (2000), pp. 343-359.

وأظهرت المستنقعات في هولندا[676]، وخث النصف الشمالي من الكرة الأرضية[677]، وكندا[678]، دورات مناخية محركها النشاط الشمسي. وقد استعملت ثُغَيْرَات (Stomata) أوراق متحجرة كطريقة لقياس CO_2. وقد أظهرت عيّنات من أوراق أحفوري دنيا في مستنقعات عمرها 11230 إلى 10330 عاماً في جزر الفايرو (Faero) انخفاضاً في CO_2 قبل نحو 11050 عاماً، ربما بسبب التوسع والانتشار النباتي في النصف الشمالي للكرة الأرضية. وحصل انخفاض مستمر وثابت في CO_2 بين 10900 إلى 10600 عام مضت، وكان عدم الاستقرار المتزايد بعد 10550 عاماً، ربما بسبب الابتراد المتزايد لمياه سطح شمال الأطلسي[679]. وأظهرت تغيرات CO_2 المعاد تشكيلها (Reconstructed) تشابهاً متميزاً لمؤشرات تغير النشاط الشمسي. وهذا يدل أيضاً على أن حساسية شديدة للتغيرات في النشاط الشمسي كانت حصلت خلال هذه الزمن، وأن تركيزات لـ CO_2 الجوي تصاعدت كنتيجة لهذه التغيرات السريعة في المناخ[680].

أظهرت مستنقعات الخث في شمال غرب أوروبا ابترداً مناخياً مفاجئاً قبل 2800 عام. وهذا الابتراد سجل في أماكن أخرى كثيرة، مثل الجانب الآخر من العالم في تيرا دل فويغو (Terra del Fuego). وإن التوقيت والطبيعة والصفات العالمية لهذا الابتراد دلّ على قوة ضغط شمسية عززها دوران المحيطات[681]. وفي الحقيقة، لا يمكن شرح تغيرات المناخ الكبيرة السريعة والمتعددة في «الهولوسين»، مثل احترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير، إلا بالتغيرات في النشاط الشمسي[682].

---

(676) M. Blaauw, B. van Geel and J. van der Plicht, «Solar Forcing of Climate Change during the mid-Holocene: Indications from Raised Bogs in the Netherlands,» *The Holocene*, vol. 14 (2004), pp. 35-44.

(677) D. Mauquoy [et al.], «Changes in Solar Activity and Holocene Climate Shifts Derived from ^{14}C Wiggle-Match Dated Peat Deposits,» *The Holocene,* vol. 14 (2004), pp. 45-52.

(678) Z. Yu [et al.], «Carbon Sequesteration in Western Canadian Peat Highly Sensitive to Holocene Wet-Dry Climate Cycles at Millennial Time Scales,» *The Holocene,* vol. 13 (2003), pp. 801-808.

(679) C. A. Jessen [et al.], «Climate Forced Atmospheric CO_2 Variability in the Early Holocene: A Stomatal Frequency Reconstruction,» *Global and Planetary Change*, vol. 57 (2007), pp. 247-260.

(680) المصدر نفسه، ص 247 ـ 260.

(681) F. M. Chambers [et al.], «Globally Synchronous Climate Change 2800 Years Ago: Proxy Data from Peat in South America,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 253 (2007), pp. 439-444.

(682) E. Bard and M. Frank, «Climate Change and Solar Variability: What's New Under the Sun?,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 248 (2006), pp. 1-14.

ولقد بيّنت دراسات عن النباتات، والخث، وطبقات غبار الطلع، والبذور، أن CO_2 تغير بسرعة خلال السنين الـ 14500 الماضية منذ الاضطرابات المناخية ما بعد الجليدية. وقد بيّن لب الجليد تغيراً ضئيلاً في تركيز CO_2 الجوي خلال أمداء قصيرة من الزمن، وقد يعطي هذا اتجاهات واسعة الأمد مصقولة (Smoothed)[683]؛ وقد يكون بسبب انتشار الهواء من خلال الجليد أثناء الرص (Compaction).

الشمس والمناخ

أظهرت بيانات القوة الشمسية الضاغطة أن نظام المناخ أكثر حساسية للتغيرات الطفيفة في النشاط الشمسي مما اعتقدنا من قبل. ولهذا فإن مضامين مهمة في تغيرات المناخ قصيرة الأمد تعين في فهم أحداث حصلت في الزمن البعيد. وقد أظهرت سجلات وقياسات آركيولوجية وتاريخية[684] تغيرات مناخ سابقة (على سبيل المثال، ماوندر الأدنى[685][686]، وإن تغيراً طفيفاً جداً في النشاط الشمسي ذو أثر عميق في مناخ الأرض.

كما أظهر القرن العشرون احتراراً عاماً بـ 0.7 درجة مئوية، أي نحو نصف ما كان عليه قبل 1945 عندما كانت الشمس نشيطةً أكثر، وكان هنالك انبعاثات CO_2 من صنع البشر في الجو. وعلى الرغم من أن الأشعة الكونية قد قيست بانتظام منذ 1937 فقط، فإننا نستطيع قياس الأشعة الكونية الناتجة من نشاط شمسي ماض ومتغير ببصمات أصابع النظيرين C^{14} وBe^{10}. وكان الابتراد المعلن عنه منذ 1945 حتى منتصف السبعينيات، في وقت ضعف النشاط المغنطيسي للشمس، وأعيد افتراضه بعد 1975، يشير باتجاه الارتفاع في النشاط الشمسي. ثم عاد الاحترار نتيجةً لذلك. وقد زادت قوة الوقاء المغنطيسي للشمس خلال

(683) E. Monnin [et al.], «Atmospheric CO_2 Concentrations over the Last Glacial Termination,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 112-114.

(684) C. A. Perry and K. J. Hsu, «Geophysical, Archaeological and Historical Evidence Support a Solar-Output Model for Climate Change,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 97 (2000), pp. 12433-12438.

(685) W. H. Soon, and S. H.Yaskell, *The Maunder Minimum and Variable Sun-Earth Connection* (New Jersey: World Scientific Publishing, 2004).

(686) T. Shindel [et al.], «Solar Forcing of Regional Climate Change during the Maunder Minimum,» *Science,* vol. 294 (2001), pp. 2149-2152.

القرن العشرين أكثر من الضعف. كما قلل هذا الوقاء المغنطيسي الجزء الأكبر من قذائف الأشعة الكونية على الأرض، وتشكلت غيوم أقل وكانت الأرض أدفأ. لقد حسب الاحترار بحوالى 0.6 درجة مئوية، ومردّه الأشعة الكونية والغيوم المتناقصة في القرن العشرين[687]. وإذا ارتفعت درجة الحرارة الجوية في القرن العشرين بمقدار 0.7 درجة مئوية، فيمكن نسب معظم هذا الارتفاع إلى آثار الشمس والأشعة الكونية والغيوم. وقد يستمر هذا الارتفاع[688].

إن ابتراد العقد الأول من القرن الحادي والعشرين هو بقدر احترار القرن العشرين كله تقريباً. وعليه، فإن توقعات احترار كوني لحركة انبعاثات CO_2 بشرية في القرن الحادي والعشرين تبدو محكومة بالفشل. هذا ويدفع بعض المحذرين المبالغين بتوقعاتهم عن المناخ إلى ارتفاع غير عادي لاحترار مقداره خمس درجات مئوية.

ومع ذلك فإن الأمر ليس بسيطاً كما يبدو. فهنالك فوضى في **القطب الجنوبي**. فعندما يبدو أن العالم بأسره يدفأ، يبرد «القطب الجنوبي». وعندما يبرد «القطب الجنوبي»، يدفأ العالم. ولعل سبب هذه المفارقة هو أن الغيوم في القطب الجنوبي تُدفئ الثلج شديد الانعكاس وكذلك سطح الجليد، بينما تبرد الغيوم أماكن أخرى يكون فيها السطح يابسةً وماء. ويدفأ «القطب الجنوبي» عادةً عندما تبرد غرينلاند، ويبرد «القطب الجنوبي» عندما تدفأ غرينلاند.

كانت غرينلاند باردةً جداً و«القطب الجنوبي» دافئاً نسبياً خلال العصر الجليدي الصغير. وكان ذوبان جليد غرينلاند بين عامي 1550 و1700 شائعاً في 8 في المئة من السنين التي شهدت ذوبانات ودرجات حرارة صيف مرتفعة[689]. أضف إلى ذلك، لم يكن هناك ذوبان للجليد قبل حوالى 7000 عام، وكان الجو بارداً بخاصة في القطب الجنوبي، وكان دافئاً دفئاً غير عادي في

(687) N. D. Marsh and H. Svensmark, «Low Cloud Properties Influenced by Cosmic Rays,» *Physical Review Letters*, vol. 85 (2000), pp. 5004-5007.

(688) Z. -S. Kin and S. Xian, «Multi-Scale Analysis of Global Temperature Changes and Trends of a Drop in Temperature in the Next 20 Years,» *Meteorology and Atmospheric Physics*, vol. 95 (2007), pp. 115-121.

(689) I. Joughun [et al.], «Seasonal Speedup along the Western Flank of the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 320 (2008), pp. 781-783.

غرينلاند، في فترة كان ذوبان الجليد فيها الأشد خلال عشرة آلاف عام مضت. . . وقد قيل إن تأرجحاً قطبياً كان هناك (على سبيل المثال، شذوذ في مناخ القطب الجنوبي) مع دفء يتنقل من نصف إلى آخر من الكرة الأرضية[690]. إن ما يجعل القطب الجنوبي أكثر انعزالاً هو أن تيار المحيط المتجمد الجنوبي (Antarctica Ocean Current) يعزل القطب عن التيارات الاستوائية. وإن الرياح الدوامة القطبية في «ستراتوسفير» في القطب الجنوبي أقوى بكثير مما هي عليه في القطب الشمالي وتعمل أيضاً على عزل القطب الجنوبي.

إن شذوذ المناخ في القطب الجنوبي لا يتعلق بالـ CO_2 الذي ينتشر بدون انتظام في الغلاف الجوي حول العالم، بما في ذلك القطبين. وتتوقع نماذج المناخ العديدة المبنية على زيادات في CO_2 باحترار نصفي الكرة الأرضية، بما فيها القطب الجنوبي وغرينلاند. ومن الواضح أن آثار الـ CO_2 التي ينتجها الإنسان أو دوره في ثقب الأوزون فوق القطب الجنوبي لم يؤثر في شذوذ المناخ في القطب الجنوبي قبل 7000 عام.

كما سنرى في الفصل القادم إن تذبذبات دورة ميلانكوفتش في مدار الأرض ليست كافية لشرح التقلب السريع في درجات الحرارة في غرينلاند و«القطب الجنوبي»، غير أنها تؤدي دوراً مهماً في تغير مناخ طويل الأمد عند جمعه مع النشاط الشمسي وعوامل ضاغطة أخرى.

وإذا كان نموذج دحض بوبر[691] (Popper) هو العملية التي تتقدم بها العلوم، يكون عندها شذوذ مناخ القطب الجنوبي كافياً لدحض الفرضية بأن الإنسان يغيّر المناخ.

للغيوم دور كبير تؤديه في تغير المناخ. فعندما يتناقص غطاء الغيوم، يدفأ كوكب الأرض ويبرد القطب الجنوبي، لأن غطاء الثلج في القطب الجنوبي هو السطح الأكثر بياضاً على الأرض. ويعكس طاقةً أكثر من ثلج القطب الجنوبي، وقمم الغيوم، والمحيطات والأراضي. تتكون كتلة الغيوم فوق القطب الجنوبي

(690) N. Shackleton, «Climate Change across the Hemispheres,» *Science*, 291 (2001), pp. 58-59.

(691) K. R. Popper, *Objective Knowledge* (Oxford: Oxford University Press, 1979).

بطريقة يحصل فيها الاحترار في الصيف والشتاء. وبذلك ليس هناك أساس للتوقع بتغير المناخ في القطب الجنوبي[692]. أظهرت دراسات في غرينلاند أن تناقصاً في غطاء الغيوم له أثر شديد البرودة، على الرغم من أن غرينلاند تعتبر أصغر من القطب الجنوبي، وثلج غرينلاند أقل التماعاً من جليد القطب الجنوبي. (يمتص مزيداً من السخونة، على سبيل المثال).

بيّنت تجربة أجرتها مجموعة إشعاع الأرض في ناسا (NASA) أن التغيم (Clouding) إذا ازداد بنسبة 4 في المئة، تزداد الحرارة في خط الاستواء بمقدار درجة مئوية واحدة، وتنقص في القطب الجنوبي بمقدار 0.5 درجة مئوية. غير أن هنالك عوامل منافسة أخرى تعمل، فبخار الماء هو غاز رئيسي من الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي. ويتبخر الماء بسرعة أكثر بازدياد درجة الحرارة. ويعني هذا تسرب سخونة أقل نحو الفضاء. وقد كان الكوكب سيدفأ مع التناقص الضئيل في كثافة الغيم في القرن العشرين، مع الازدياد البسيط في بخار الماء الجوي، وكان القطب الجنوبي قد دفئ قليلاً وكان هذا الاحترار البسيط أشد من الابتراد المسبب عن فقدان الغيوم.

بيّنت قياسات لب الجليد حدوث سبعة احترارات في غرينلاند خلال 90000 عام الماضية. وتبعتها بعد 1500 إلى 3000 عام، احترارات في القطب الجنوبي. وبدا أن غرينلاند كانت تبرد بينما كان القطب الجنوبي يدفأ، وعندما توقف احترار القطب الجنوبي، ابتدأ احترار سريع في غرينلاند[693]. ولما كانت تغيرات المناخ تتجاوز العقود، فمن المستبعد أن تكون تيارات المحيط المتغيرة قد سببت تغيرات كهذه لـ 90000 عام.

هل أن تغيرات الطاقة الصادرة من الشمس فريدة؟ يبدو أنها ليست كذلك. يمكن لبعض النجوم الشبيهة بالشمس أن تفقد 0.4 في المئة من نورها في بضع سنين. وقد بيّنت خمسة وعشرون عاماً من دراسة لنجوم شبيهة بالشمس أن تاو شتي (Tau Ceti) أصبح الآن خامل التمغنط (Magnetically Inert). وكان نجم آخر شبيه بالشمس، اسمه 54 بسكيوم (54 Piscium)، شمساً عاديةً حتى عام

(692) D. G. Vaughanurner, «Recent Rapid Regional Climate Warming on the Atlantic Peninsula,» *Climate Change,* vol. 60 (2003), pp. 243-270.

(693) T. Blunier and E. J. Brook, «Timing of Millennial-Scale Change in Antarctica and Greenland during the Last Glacial Period,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 109-112.

1980، ثم انخفض نشاطه المغنطيسي فجأةً. وإذا حصل ذلك لشمسنا، فسوف ندخل فترة دالتون الدنيا أو ماوندر الدنيا.

إنه لغريب أن يعارض أولئك الذين يدعون أن انبعاثات CO_2 التي مصدرها الإنسان تحرك تغير المناخ بدون اعتبار لدور الشمس الواضح بهذا المجال. فالتغيرات في النشاط الشمسي المتعلقة بالمناخ معروفة منذ مئات السنين، ومنذ زمن ماوندر وهرشل (Maunder and Hershel).

تقول قواعد أوكام رايزر (Occam Razer Rules)[694]: أن الكرة العظيمة الساخنة في السماء تحرّك المناخ.

(694) إن التفسير الأبسط لجميع البيانات ربما يكون الأفضل.

الفصل الرابع

الأرض

سؤال: هل تغيّر البراكين المناخ؟

الجواب: نعم

سؤال: هل تغيّر التذبذبات في مدار الأرض المناخ؟

الجواب: نعم

سؤال: هل دفعت تغيّرات مناخ قديمة الانقراض؟

الجواب: نعم ولا.

إن كوكب الأرض كوكب متطور وديناميكي. وللأرض كربون ومياه أقل من الكواكب والكويكبات والمذنبات الأخرى. إنه كوكب دافئ وبركاني ممطر دفيء وكان فيه جليد في أقل من 20 في المئة من الزمن.

مضى على عمل دورة الكربون أربعة آلاف مليون عام، وتحكّمت بها تفاعلات كيميائية بين الماء، والهواء والصخور، ولا تزال كذلك. وأوقفت هذه التفاعلات انطلاقاً سريعاً لبيت جليديً أو لبيت زجاجي. وإن نقاط الانقلاب (Tipping points) أسطورة غير علمية.

ازدهرت الحياة المبكرة في جو مليء بـ CO_2. تحكمت فيه البكتريا بالعالم، وشكّلت مع الماء، محرّكاً أساسياً لدورة الكربون. وكان أول CO_2 يضاف إلى الغلاف الجوي مصدره من البراكين. ولا تزال هذه العملية تحدث.

إن العمليات المَجريِّة والكوكبية غير العادية أساسية لإنتاج بيئة لحياة متعددة الخلايا. ومنذ أن ظهرت الحياة متعددة الخلايا على الأرض، كان هناك انخفاض ثابت للـ CO_2 من الغلاف الجوي الذي كان فيه مئة ضعف محتوى الـ CO_2 الحالي. وكان في الغلاف الجوي محتوى أقل من CO_2 إطلاقاً خلال العصر الجليدي الحالي.

كانت هناك تغيرات مناخية كبيرة في الماضي، لم يشرح أيٌّ منها شرحاً وافياً. كان الـ CO_2 الجوي أكثر من 4000 ppmv خلال التجلد الأوردوفيكي ـ السيلوري (Ordovician-Sluvian)، على سبيل المثال، مبيّناً أن الـ CO_2 لا يحرّك الاحترار. إن التصحر صفة من صفات الابتراد الكوني، وقد حدث مرات كثيرة في الماضي. وإن الكوكب أصبح الآن نباتياً، وإن الصحارى تتقلص.

هناك تحول ثابت للحياة عن طريق الانقراض، الذي يخلق بيئات لأجناس جديدة. وإن الانقراض طبيعي. وإن انحفاظ الأنواع مناقض للطبيعة. وكان انقراض جماعي للحياة في بعض الأحيان، معظمه بسبب الغاز. ويأتي هذا الغاز من براكين عظمى.

تنتج بعض انقراضات الأنواع من الابتراد، بينما لا يؤدي الاحترار الكوني وتركز CO_2 العالي إلى الانقراض. ويحدث الاحترار تنوعاً بيولوجياً، وازدهاراً للحياة، ونزوحاً للأنواع وتأقلماً.

لقد أدت إعادة تنظيم الأنواع الحديثة بالمنافسة إلى انقراض بعض الأنواع. ومثال ذلك النزوح البشري الذي يحرك انقراض بعض الفصائل الكبيرة. وقد عاشت الدببة القطبية خلال فترات عديدة قاسية الاحترار، وسبَّب انقراض الأنواع الاستوائية الحديث، الاستعمال المتغير للأرض وليس تغير المناخ. وإن الملاريا وغيرها من الأمراض الاستوائية أمراض فقر، ولا تظهر أي علاقة بالاحترار.

تعطي البراكين العظمى هيكلية للأرض. وتحدث انقراضات، وتغير تيارات المحيطات، وتغير المناخ، وتضيف مقادير كبيرة من الجسيمات، مثل CO_2، وغازات الكبريتيك إلى الغلاف الجوي. ولانزال بحاجة إلى فهم البراكين العظمى البحرية. وقد أثار تحميل وتفريغ الجليد خلال تغيرات مناخ قديمة، الزلازل والبراكين. وإننا نعيش فترةً البراكين فيها هادئة.

تضع التذبذبات المدارية الأرض ضمن مسافة متغيرة من الشمس. وقد تأثرت تغيرات المناخ الماضية بالتذبذبات المدارية، ولكن محفزات تغير المناخ وأثر التغيرات المدارية للأرض لم تفهم بعد.

الحياة على الأرض

الكائنات وحيدة الخلية

إن شكل الحياة المسيطر على الأرض هو البكتريا. فهي مثلنا، مبنية على الحمض النووي الموجود في نوى الخلايا (DNA). وهذا يعني أننا مرتبطون بالبكتريا في أحشائنا، وأسناننا، وفي خروجنا، وبما يمكن أن تقتلنا. إن البكتريا، والثدييات، والزواحف، والبرمائيات، والنباتات وكل أشكال الحياة الأخرى أولاد الحمض النووي (DNA). ولجميعنا النوع ذاته من الخلايا، وبالتالي فإن لنا الأصل ذاته[695]. إن نحو 90 في المئة من الخلايا في جسم الإنسان بكتيرية. وإن نحو 15 في المئة من وزن جسم الإنسان هو بكتريا. وإن أعظم كتلة بيولوجية على الأرض هي البكتريا. فهي تزدهر في بيئات عدائية وحميدة، ويمكنها فعل كثير من الأشياء التي لا نستطيع فعلها. على سبيل المثال، تستطيع أن تأكل صخوراً تحت أقدامنا على عمق ثلاثة كيلومترات[696] وخمسة كيلومترات تحت قاع المحيط[697][698].

وتوجد هذه الكائنات وحيدة الخلية في الغيوم، والجليد، والينابيع الساخنة، والملح، والتربة، والماء، والصدوع في الصخور وكل بيئة يمكن تخيلها على الأرض. وتقع نصف الكتلة البيولوجية للعالم على الأقل تحت سطح الأرض[699]، والبكتريا تحب أقصى التناقضات فيمكنها تحمل الضغط العالي، ودرجات الحرارة العالية والمنخفضة ودرجات قصوى من الحموضة، ومع الأكسجين أو من

(695) X. Gu, «The Age of the Common Ancestor of Eukaryotes and Prokaryotes: Statistical Inferences,» *Molecular Biology and Evolution,* vol. 14 (1997), pp. 861-866.

(696) حجار ذاتية التغذية (Lithautotrophs).

(697) T. O. Stevens and J. P. McKinley, «Lithautotrophic Microbial Ecosystems in Deep Basalt Aquifers,» *Science*, vol. 270 (1995), pp. 450-454.

(698) C. M. Santelli [et al.], «Abundance and Diversity of Microbial Life in Ocean Crust,» *Nature*, vol. 453 (2008), pp. 653-656.

(699) J. McCall, «The Deep Biosphere,» *Geoscientist:* vol. 13, no. 3 (2003), p. 11.

دونه[700]. وتسيطر البكتريا في بيئات حارة، وباردة، وجافة، وممطرة، وغنية بالأكسجين، أو فقيرة بالأكسجين، وبيئات داكنة، ومشمسة، وحمضية، وقلوية، وإشعاعية النشاط، وعالية الضغط ومنخفضة الضغط[701][702]. وتسمح المياه السائلة بتحويل المواد الغذائية في خلايا البكتريا. وليس صدفةً أن الظهور الأول للحياة على الأرض كان عندما وجدت مياه سائلة على الأرض. ويمكن للبكتريا أن تزدهر في بيئات سامة للكائنات متعددة الخلايا. وبعد بقائها لمئات الملايين من السنين في المياه المالحة، يمكن لها أن تخرج من جديد[703]. ويمكن لبكتريا أخرى أن تتحمل شعاعاً كهربائياً قوته 25 kV ودرجات حرارة عالية ناتجة في الفراغ، ما يحفز التفكير بأنها يمكن أن تتواجد على الحجارة النيزكية[704].

إن البكتريا هي الكائن الأكثر بقاءً على كوكب الأرض. وإن فرص إيجاد حياة أحفوري أو حياة حديثة في أماكن أخرى في نظامنا الشمسي عالية جداً بسبب مرونة البكتريا[705] والأوضاع الجيولوجيا المناسبة لحياة البكتريا[706][707][708]. وقد توجد حياة أحفورية على المريخ[709]، وأوروبا[710]

(700) B. B. Jorgensen and A. Boetius, «Feast and Famine-Microbial Life in the Deep Seabed,» *Nature Reviews Microbiology,* vol. 5 (2007), pp. 770-781.

(701) D. J. Hei and D. S. Clark, «Pressure Stabilization of Proteins from Extreme Thermophiles,» *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 60 (1994), pp. 932-939.

(702) L. J. Rothschild and R. L. Mancinelli, «Life in Extreme Environments,» *Nature*, vol. 409 (2001), pp. 1092-1100.

(703) R. H. Vreeland, W. D. Rosenzweig, and D. W. Powers, «Isolation of a 250 Million-Year-Old Halotolerant Bacterium from a Primary Salt Crystal,» *Nature*, vol. 409 (2000), pp. 897-900.

(704) D. S. McKay [et al.], «Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001,» *Science*, vol. 273 (1996), pp. 924-930.

(705) J. A. Baross and J. F. Holden, «Overview of Hyperthermophiles and their Heat-Shock Proteins,» *Advances in Protein Chemistry*, vol. 48 (1996), pp. 1-35.

(706) M. J. Russell [et al.], «Submarine Hot Springs and the Origin of Life,» *Nature*, vol. 336 (1988), p. 117.

(707) C. S. Romanek [et al.], «Record of Fluid Interactions on Mars from the Meteorite ALH84001,» *Nature*, vol. 372 (1994), pp. 655-657.

(708) M. J. Rusell [et al.], «Search for Signs of Ancient Life on Mars: Expectations from Hydromagnesite Microbialites, Salda Lake, Turkey,» *Journal of the Geological Society London*, vol. 156 (1999), pp. 869-888.

(709) S. W. Squyres and J. F. Kasting, «Early Mars-How Warm and How Wet?» *Science*,vol. 265 (1994), p. 744.

(710) B. M. Jakosky and E. L. Shock, «The Biological Potential of Mars, the Early Earth, and Europa,» *Journal of Geophysical Research*,vol. 103 (1998), p. 19359.

والتيتان[711][712] (Titan)، وقد توجد حياة الأحفوري في المريخ[713].

تُرى هل كانت نشأة الحياة على هذا الكوكب لا مفرّ منها؟ وإذا أعيدت قصة الأرض مرة أخرى، فهل ستنطلق الحياة فيها مرة أخرى؟ وإن كان الأمر كذلك، فهل ستنشأ مع إشكالية الحمض النووي DNA؟ وهل كان النشادر (الأمونيا (Ammonia)) سيكون هو المذيب الضروري للحياة، لكي يستبدل فقط بمذيب أفضل (الماء)؟ إننا بحاجة إلى مذيب لإيصال المواد الكيميائية في محلول لكي تعمل الخلايا. فهل ظهرت الحياة دفعةً واحدة فقط ثم انتشرت حول الأرض، أم تراها ظهرت مرات عدة، لكي تمسح من الوجود مرات عدة بتصادم الكويكبات؟ وهل نشأ الحمض الريبي (RNA) ليصبح حمضاً نووياً منزوع الأكسجين DNA، أم كانت السطوح المعدنية (الحديد، الكبريتيكيدات، الطين) موقع الأخذ البيولوجي لردات فعل غير بيولوجية؟ فكم كانت السرعة التي ظهرت بها الحياة؟ فإذا ظهرت الحياة بسرعة، فمن المحتمل إذاً أن هناك أنواعاً من الحيوات كانت موجودة في أماكن أخرى من النظام الشمسي؟ فأين ظهرت أول حياة؟ لقد اقترح داروين أن تكون في بركةً دفّأتها الشمس. واقترح آخرون في ينابيع حارة، وبخاصة في عمق المحيطات، بينما يقترح آخرون في تصدعات عميقة في الصخور. غير أننا لا نرى هذه الخطوات المبكرة في سجل الأحفوري، لأن الصخور الأقدم على الأرض كانت قبل 4200 مليون عام، وقد تفككت وسخنت عدة مرات. ولا نرى إلا بكتريا وكائنات بدائية محبة للحياة كأقدم أحفوري. فهل كانت المراحل الفردية في أصل الحياة (الأحماض الأمينية، الأحماض النووية، الخلايا) معتمدةً على تغيرات طويلة الأمد في بيئة الأرض؟ وهل غير أصل الحياة البيئة حتى لم تستطع الحياة أن تنشأ مرة أخرى؟ ففي أي مرحلة تسلط النشوء (Evolution) ليؤثر في تطور الحياة؟ وهكذا أسئلة كثيرة، ولا توجد أجوبة كافية.

J. I. Lunine, D. J. Stephenson and Y. L.Yung, «Ethane Ocean on Titan,» *Science*, vol. 222 (711) (1983), pp. 1229-1230.

R. H. Brown [et al.], «The Identification of Liquid Ethane in Titan's Ontario Lacus,» (712) *Nature*, vol. 454 (2008), pp. 607-610.

J. L. Kirschvink, A. T. Maine and H. Vali, «Palaeomagnetic Evidence Supports a Low (713) Temperature Origin of Carbonate in the Martian Meteorite ALH84001,» *Science,* vol. 275 (1997), pp. 1629-1633.

تشبه مستعمرات البكتريا آلة معالجات موازية هائلة، آلة ذكية تعمل بما لا يقدر عليه أي كمبيوتر. وتعيد البكتريا هندسة مجموعتها الوراثية (الجينوم) الجيني للبقاء في بيئة عدائية جديدة، وهذا هو سبب كونها اللاعب الأكثر ديمومة في لعبة النشوء. ويضمن العدد الكبير للبكتريا بقاءها على قيد الحياة. فالبكتريا هي الكائنات الوحيدة التي بقيت على الأرض منذ بدء الحياة قبل 4000 مليون عام. فربما كانت هناك حياة مبنية على الـ RNA أو البروتين قبل ذلك التأريخ[714]. لقد تشكل كوكب الأرض في يوم خميس[715]، قبل 4567 مليون عام. بينما يعود عمر الإنسان (Homo sapiens) على الأرض إلى نحو 100000 عام فقط.

هذا ولا يزال إيجاد أحفوري مستعمرات بكترية ممكناً، على الرغم من أن 90 في المئة من الحجارة القديمة التي ترسبت يوماً على الأرض قد ذهبت الآن. ولدينا دلائل واضحة ترجع إلى قبل 3500 مليون عام عن وجود مستعمرات بكتيرية (ستروماتولايت ـ أحفور رقائقي أو صفائحي يتشكل من طبقات الأشنة الخُضْر الضاربة إلى الزرقة (Stromatolites)) في غرب أستراليا، وكندا، وجنوب أفريقيا. وعلى الرغم من أن الستروماتولايت موجود في سجل أحفوري منذ 3500 مليون عام حتى اليوم، فقد وصل إلى ذروته قبل نحو 1000 مليون عام. واقتطف الستروماتولايت ثاني أكسيد الكربون CO_2 من الغلاف الجوي لإفراز الكربونات. ولا يزال الستروماتولايت موجوداً في الأرض، ولكن في ظروف مؤكسدة أكثر (على سبيل المثال، خليج القرش (Shark Bay)، في غرب أستراليا). وهذا يشير بوضوح إلى أن الحياة الأولى على الأرض (البكتريا) لا تزال معنا، وأنها شكل الحياة المسيطر على الأرض. وهذا يشير أيضاً إلى أنه إذا كانت هناك حياة في أماكن أخرى في الكون، فإننا نتوقعها أن تكون بكتيرية.

بقيت نسبة الكربون المخفض إلى المؤكسد[716] في الحياة[717] وماء

(714) A. Lazcano, «The RNA World, its Predecessors, and its Descendents,» in: *Early Life on Earth*, edited by S. Bengston (New York: Columbia University Press, 1994), pp. 70-80.

(715) من الواضح أن يوم الخميس (Thursday) سُمِّيَ على اسم ثور (Thor) (الآلهة النروجية للرعد).

(716) إن الكربون المخفض مقيد بالكربون بيولوجياً، والميثان وأول أكسسيد الكربون، بينما الكربون المؤكسد هو CO_2.

(717) M. Schidlowski [et al.], «Precambrian Sedimentary Carbonates: Carbon and Oxygen Geochemistry and Implications for the Terrestrial Oxygen Budget,» *Precambrian Research*, vol. 2 (1975), pp. 1-69.

البحر[718] ذاتها منذ الأزمنة الأولى على الأرض. ونستنتج من هذا أن أساسيات دورة الكربون على الأرض كانت موجودة منذ 4000 مليون عام تقريباً[719][720]. وتصعب تسوية هذه النسبة الثابتة مع شمس ضعيفة فتية في عمر كان نورها أقل بنسبة 30 في المئة عمّا هي عليه الآن[721][722]. ولا بد مع شمس ضعيفة كهذه، أن تبقى الأرض كرة ثلج إلى حد مليار عام مضت. ويقول البعض لا بد أنه كان للأرض احتباس حراري (أثر بيوت زجاجية) كبير في ذلك الوقت[723]، مع محتوى CO_2 جوي يقترب من 35٪ لمنع نشأة كرة ثلجية[724]، غير أن هذا لا يتوافق مع ترسبات حجر الكلس القديم وتركيبه الكيميائي[725]. وإذا كان هناك غطاء غيوم متناقص[726]، لحافظ نور الشمس المتناقص على اعتدال الأرض من دون صفائح جليدية، ومن دون ماء متبخر[727].

على الرغم من أن الانقراضات الكثيفة للحياة متعددة الخلايا هي أمر طبيعي لكوكب ناشئ[728]، فقد حافظت البكتريا على حياتها خلال الانقراضات الكبيرة للحياة المعقدة على الأرض. وخلافاً للمعتقد السائد، بأن ليس هناك

---

(718) J. M. Hayes, I. R. Kaplan and K. W. Wedeking, «Precambrian Organic Geochemistry,» in: *The Earth's Early Biosphere: Its Origin and Evolution*, edited by J. W. Schopf (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1983).

(719) S. Mojzsis [et al.], «Evidence for Life on Earth before 3,800 Million Years Ago,» *Nature,* vol. 385 (1996), pp. 55-59.

(720) J. Veizer, «Celestial Climate Driver: A Perspective from Four Billion Years of Carbon Cycle,» *Geoscience Canada*, vol. 32 (2005), pp. 13-28.

(721) C. Sagan and G. Mullen, «Earth and Mars: Evolution of Atmospheres and Surface Temperatures,» *Science*,vol. 177 (1972), pp. 52-56.

(722) T. J. Crowley and S. K. Baum, «Effect of Decreased Solar Luminosity on Late Precambrian Ice Extent,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 98 (1993), pp. 16723-16732.

(723) J. F. Kasting, «Early Earth's Atmosphere,» *Science*, vol. 259 (1993), pp. 920-926.

(724) J. F. Kasting and T. P. Ackerman, «Climatic Consequences of Very High Carbon Dioxide Levels in the Earth's Early Atmosphere,» *Science,* vol. 234 (1986), pp. 1383-1385.

(725) G. Shields and J. Veizer, «Precambrian Marine Carbonate Isotope Database, Version 1.1,» *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, vol. 3 (6 June 2002).

(726) W. B. Rossow, A. Henderson-Sellers and S. K. Weinreich, «Cloud Feed-Back: A Stabilizing Effect for the Early Earth?» *Science,* vol. 217 (1982), pp. 1245-1247.

(727) H. -W. Ou, «Possible Bounds on the Earth's Surface Temperature: From the Perspective of Conceptual Global Mean Model,» *Journal of Climate*, vol. 14 (2001), pp. 2976-2988.

(728) D. Raup, «A Kill Curve for Phanerozoic Marine Species,» *Paleobiology*, vol. 17 (1979), pp. 37-48.

شيء مثل الحفاظ على النوع. فالحياة تنشأ، وجزء من هذا النشوء هو تحول منتظم لنوع الكائنات بالانقراض. ولا يمكن الحفاظ على شيء في بيئة ديناميكية ناشئة. فالانقراض أمر طبيعي. والحفاظ على نوع الكائنات نظرة رومانسية غير علمية عن كوكب الأرض[729].

إن للحجارة القديمة، من قبل 3800 مليون عام، التي كانت حصى ورملاً وطمياً قصة تحكيها. فقد ظهرت الحياة عندما توقفت الانهمارات الشديدة جداً لكويكبات ومذنبات كبيرة. وربما بخرت التصادمات الكوكبية والشهبية الصخور والمياه. وقد بينت الحسابات أن كويكباً يبلغ قطره 500 كليومتر يبخر محيطات إلى عمق 3000 متر، ولكان عندها سطح الكوكب قد تعقم. ومقارنة بكوكبنا الأرضي، كان هناك تردد أعلى لتصادمات نيزكية عندما ظهرت الحياة، وكانت مدة النهار أقصر، والأرض تدور دوراناً أسرع بكثير، والشمس أكثر إعتاماً، وكان الغلاف الجوي أكثر كثافةً، وضوء الأشعة فوق البنفسجية (UV) الذي يدخل الأرض أكثر كثافةً، وكان لون السماء برتقالياً إلى أحمر قرمزي. وأعادت هذه التصادمات الكبيرة تشكيل سطح الأرض، وكانت قوة محركة لتكون قشرتها[730].

هطل أول مطر على سطح الأرض عندما كانت حرارة الغلاف الجوي دون 100 درجة مئوية. وعندما ضرب هذا المطر الصخور الساخنة، كان له أن يتبخر. وكان المطر حمضياً، لا أكسجين فيه، هاجم الصخور ليشكل تربة كثيفة (التجوية). ولما كانت هذه التربة مختزلة كيميائياً، فربما كانت خضراء، مقارنة بالترب الحديثة المؤكسدة البنية ـ الحمراء، أو الترب العضوية الغنية السوداء. وكانت المياه الأولى على الأرض تأتي في الدرجة الأولى من تحرير غازات البراكين، على الرغم من أن المذنبات أضافت إليها مقداراً آخر. وعندما برد سطح الأرض إلى أقل من 100 درجة مئوية، صارت هناك مياه جارية حتّت التربة (تآكل Erossion) ورسبتها (ترسيب Sedimentation).

غمرت البحار الأرض باستثناء بعض الجزر العالية. وكانت البحار حمضية وحارة، ومليئة بالطين الرسوبي. ثم تصلبت هذه الترسبات وصارت صخوراً

(729) D. Raup, *Extinction: Bad Genes or Bad Luck* (New York: W.W. Norton, 1991).

(730) A. Y. Glikson, «Ocean Mega-Impacts and Crustal Evolution,» *Geology*, vol. 27 (1999), pp. 287-390.

ترسبية (Sedimentary Rocks). ولعل الصخور الرسوبية الأقدم هي المكان الأكثر احتمالاً لإيجاد مفاتيح عن الحياة الأولى على الأرض. وهنا انتقل الكوكب من كوكب لا حياة فيه إلى كوكب حيّ. ومع أن الشمس كانت ضعيفة، إلا أن سطح الكوكب لم يتجمد، بسبب وجود دلائل على مياه جارية. فالتركيب الكيميائي للدخان الخانق الأسود (Smudges) في الحصى القديم لترسبات غرينلاند أظهر أن حياة معينة كانت هناك[731]، وأظهر اليورانيوم المؤكسد في الترسبات وجود آثار لغاز الأكسجين في الغلاف الجوي[732].

النتيجة التي لا مفر منها: كان لدينا محيط حيوي كامل وفاعل قبل 3800 مليون عام. وكانت البكتريا لا هوائية (أي لم تكن بحاجة إلى أكسجين) على الرغم من وجود آثار للأكسجين في الغلاف الجوي. إن غازات الغلاف الجوي اشتقت من تحرير الكوكب لغازاته بالبراكين[733]. وكان النيتروجين، وCO_2، والأمونيا، وبخار الماء، والهيدروجين، والكبريت، والأرغون، والهيليوم، والهيدروجين[734][735][736] منتشرين بكثرة في الغلاف الجوي في ذلك الوقت. ومع أن دورات الكربون كانت تتكرر وتنقى باستمرار[737]، إلا أن وجود ثرموستات كوكبي كان الطريق الوحيد الذي لم يُعنَ فيها كوكب الأرض من أثر بيوت زجاجية (دفيئة أو احتباس حراري) كنتيجة لإصدار الشمس مزيداً من الطاقة خلال الزمن[738]. وتخفق مفاهيم عن الأرض تفيد بأنه كوكب ينظم

---

(731) M. T. Rosing, «C-13 Depleted Carbon Microparticles in > 3700-Ma Sea-Floor Sedimentary Rocks from West Greenland,» *Science*, vol. 283 (1999), pp. 674-676.

(732) M. T. Rosing, and R. Frei, «U-rich Archaean Sea-Floor Sediments from Greenland- Indications of >3700 Ma Oxygenic Photosynthesis,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 217 (2004), pp. 237-244.

(733) D. M. Hunten, «Atmospheric Evolution of the Terrestrial Planets,» *Science*, vol. 259 (1993), pp. 915-920.

(734) Heinrich D. Holland, *The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1984).

(735) Preston Cloud, *Oasis in Space: Earth History from the Beginning* (New York: W.W. Norton, 1988).

(736) J. F. Kasting, «Earth's Early Atmosphere,» *Science,* vol. 259 (1993), pp. 920-926.

(737) J. C. G.Walker, P. B. Hays and J. F. Kasting, «A Negative Feedback Mechanism for the Long-Term Stabilization of Earth's Surface Temperature,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 86 (1981), pp. 9776-9782.

(738) C. Sagan and G. Mullen, «Earth and Mars: Evolution of Atmospheres and Surface Temperatures,» *Science*, vol. 177 (1972), pp. 52-56.

نفسه[739] بسبب المواد التي تدخل من الشمس والكون. وعلى سبيل المثال، يسقط نحو 40000 طن من المواد من خارج الأرض كل سنة، وكثير منها يحوي جسيمات عضوية، بما فيها الأحماض الأمينية (الكتل المكوّنة للـ DNA)[740][741]. ويمكن تركيب الأحماض الأمينية على الأرض في ينابيع حارة[742][743][744][745][746]، بعمليات بسيطة أخرى[747]، أو في موقع صدم محيطي[748]. وعليه، فإن الأصل غير الأرضي للحياة ليس أساسياً.

قد تكون التجوية (Weathering) هي القوة المحركة، التي تعمل على توازن CO_2 الناتج من عمليات طبيعية متنوعة[749][750]. والتجوية هي عملية تتحول بها الحجارة إلى تربة. لقد كان النموذج السائد في تفسير التحول هذا يتحدد بعملية كيميائية تشمل إضافات من H_2O والأكسجين وCO_2 إلى الصخور. ويعتقد الآن أنها عملية تحرك بها البكتريا تفكيك الصخور إلى تربة، وإضافة

---

(739) J. E. Lovelock, *Gaia, A New Look at Life on Earth* (New York: Oxford University Press, 1979).

(740) C. F. Chyba [et al.], «Cometary Delivery of Organic Molecules to the Early Earth,» *Science*, vol. 249 (1990), pp. 366-373.

(741) C. F. Chyba and C. Sagan, «Endogenous Production, Exogenous Delivery, and Impact-Shock Synthesis of Organic Molecules: An Inventory for the Origins of Life,» *Nature*, vol. 355 (1992), pp. 125-131.

(742) S. L. Miller and J. L. Bada, «Submarine Hot Springs and the Origin of Life,» *Nature*, vol. 334 (1988), pp. 609-611.

(743) W. L. Marshall, «Hydrothermal Synthesis of Amino and the Origin of Life,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 58 (1994), pp. 2009-2106.

(744) S. W. Fox, «The Synthesis of Amino Acids and the Origin of Life,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 59 (1995), pp. 1213-1214.

(745) J. Oro, «Early Chemical Stages in the Origin of Life,» in: S. Bengtson, ed., *Early Life on Earth* (New York: Columbia University Press, 1994), pp. 48-59.

(746) E. G. Nisbit, «RNA, Hydrothermal Systems, Zeolites and the Origin of Life,» *Episodes*, vol. 9 (1986), pp. 83-90.

(747) S. L. Miller, «A Production of Amino Acids under Possible Primitive Earth Conditions,» *Science,* vol. 117 (1953), pp. 528-529.

(748) Y. Furukawa [et al.], «Biomolecule Formation by Oceanic Impacts on Early Earth,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 62-66.

(749) J. Gaillardet [et al.], «Global Silicate Weathering and CO_2 Consumption Rates Deduced from the Chemistry of the Large Rivers,» *Chemical Geology*, vol. 159 (1999), pp. 3-30.

(750) D. L. Royer, R. A. Berner and J. Park, «Climate Sensitivity Constrained by CO_2 Concentrations over the Past 420 Million Years,» *Nature*, vol. 446 (2007), pp. 530-532.

H_2O وCO_2 والأكسجين إليها. ولم يكن الأكسجين أساسياً للتجوية على الأرض القديمة. وإن ما يحقق فعل التجوية عالم مليء بالـ CO_2، فيه كائنات صغيرة مليئة بالطاقة، وماء مطر كاف. من ناحية أخرى لم تتواجد النباتات على الأرض إلا لمدة 10 في المئة فقط من مجمل الزمن. وقبل ذلك، كان هناك تجوية متزايدة، وتآكل، وترسب مع عدم وجود نباتات مجذرة لمسك التربة في الصخور التحتية. إن التجوية الكيميائية (وبالتالي امتصاص H_2O وCO_2) في عالم جليدي عملية بطيئة بسبب نقص الكائنات الميكروبية المليئة بالطاقة، والأمطار الحمضية والسخونة. فازداد تركيز الـ CO_2 في الجو.

ينظم «ثرموستات» التجوية هذا كوكب الأرض حتى لا يكون هناك احتباس جليدي دائم ولا تأثير بيت زجاجي (احتباس حراري) دائم. وإن الثرموستات قوي بشكل كاف لإحداث توازن، على الرغم من أنه بعد أحداث قصوى عرضية[751]، تطلب 100000 عام ليصل الـ CO_2 إلى توازن مرة أخرى[752]. ويبيّن لب جليد فوستوك في القطب الجنوبي أنه على الرغم من التغيرات الشديدة في درجات الحرارة وCO_2 الجوي خلال 650000 عام، لا بد من أن تغيرات الكربون كانت متوازنة ضمن 1 ـ 2 في المئة[753] منها. وتبيّن قياسات لـ CO_2 لـ CO_2 الجوي الحديث أن هناك امتصاصاً سريعاً لـ CO_2 في موسم النمو للنصف الشمالي للكرة الأرضية. كما تبيّن أن مناخ الأرض كان مستقراً لمدة أطول من زمن توازن CO_2 وأنه، منذ الدلائل الأولى عن التجوية، والتآكل، والترسبات قبل حوالى 3800 مليون عام، كان الـ CO_2 في الغلاف الجوي للأرض في حالة توازن.

كانت البراكين خلال الأربعة مليارات عام الأولى من تأريخ الأرض تطلق CO_2 في الغلاف الجوي. وكان محتوى الغلاف الجوي من الـ CO_2 أكثر بثلاثة إلى 100 ضعف من محتواه الآن، وكانت الحياة تستخلص CO_2 للحيود البحرية والأصداف لمليارات السنين، وكانت الصخور تتماسك بتماسك جسيماتها،

(751) مثل الحد الحراري الأقصى للأيوسين–الباليوسين قبل 55.8 مليون سنة.

(752) G. R. Dickens, M. M. Castillo and J. C. Walker, «A Blast of Gas in the Latest Paleocen: Simulating First-Order Effects of Massive Dissociation of Oceanic Methane Hydrate,» *Geology*, vol. 25 (1997), pp. 259-262.

(753) R. Zeebe and K. Caldeira, «Close Mass Balance of Long-Term Carbon Fluxes from Ice-Core CO_2 and Ocean Chemistry Records,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 312-315.

وكانت الترسبات الكلسية تحبس CO_2 في مكوناتها خلال الزمن. وكنتيجة لذلك، تناقص الـ CO_2 في الجو، وأصبح قريباً من أخفض مستوى وصل إليه في تاريخ الكوكب. ولم تكن هناك نقطة انقلاب لتكوين تأثيرات بيوت زجاجية عندما كان الـ CO_2 ودرجة الحرارة عاليين في الماضي. ومنع الثرموستات الأرضي طيلة مليارات من السنين إحداث الدفيئة أو بيوت الجليد. ولم يتغير شيء.

تمّ استخراج الذهب منذ عام 1883 من حصى يعود تاريخها إلى 2600 مليون عام، في حوض ويتواترسراند (Witwatersrand) في جنوب أفريقيا. وفي الحصى القديم (كنغلومريت (Conglomerate))، تبيّن قطع مكورة من الكوارتز (Quartz)، وأجزاء من الصخور أخرى تجوية كانت هناك، وأن المركبات الناتجة من التجوية والمواد المتآكلة الأخرى تنبذ كترسبات، وهناك تفاعل بين الماء، والهواء، والصخور، والحياة في هذه العملية. كما يحوي هذا الكنغلومريت حبوباً مكورةً من كبريتيد الحديد (بيريت، وذهب خادع). واليوم عندما يتألف الغلاف الجوي من غاز الأكسجين بنسبة 21٪، يتأكسد البيريت بسهولة في الماء ليكوّن أكسيد الحديد وحمض الكبريتيك. فلو كان البيريت قد هوى في أنظمة الأنهار ليصبح حبوباً مكورة تبقى على تماس مع الهواء والماء، فإذن لأصبح الغلاف الجوي قبل 2600 مليون عام شحيح الأكسجين (أقل من 1 في المئة) أو معدومة. وتحوي «الكنغلومريتات»، إضافةً إلى ذلك، حبوباً مكورة من أكسيد اليورانيوم (يورانايت). فلو كان هناك أكسجين في الغلاف الجوي، لكان اليورانيوم قد تأكسد وتغير من اليورانايت الثابت المختزل إلى يورانيوم مؤكسد متحرك. ولما كان اليورانايت موجوداً في كنغلومريتات وتواترزراند (Witwatersand) فيتوفر لدينا خطأً ثانياً من الدلائل يبين أن هناك أكسجيناً قليلاً أو لا أكسجيناً في الغلاف الجوي في ذلك الوقت. وقد أظهرت كنغلومريتات مشابهة في البرازيل وغرب أستراليا أن محتوى الأكسجين العالمي كان منخفضاً قبل 2600 مليون عام.

كان هناك تغير أساسي قبل 2500 ـ 2700 مليون عام في الأرض، إذ تبدلت القشرة القديمة، المشابهة لتلك التي لا تزال موجودة على القمر، بقشرة أخف وغنية أكثر بالسليكا. وإن للأرض الآن قشرة (SIAL) (سليكا ـ ألومينا) قارية وقشرة (SIMA) (سليكا ـ مغنيزيوم) بحرية. ويتعلق هذا التغير في قشرة الأرض

بكثافة القشرة نفسها، وارتفاع السخونة البطيء وطرد ذرات صغيرة جداً وكبيرة جداً من جُبَّة (Montle) الأرض. وإن الدليل الصحيح الأول لبنيات الصفيحة التكتونية هو ما يأتي من صخور هذا العصر. وكان لنشوء القارات من خلال بنيات الصفيحة التكتونية أثر في نشوء الحياة.

كانت القارات قبل 2700 مليون عام تشغل أقل من 5 في المئة من سطح الأرض. وكان هناك بناء سريع للقارات من قبل 2700 إلى 2500 مليون عام (5 ٪ ـ 30 ٪) بسبب المعدل المتزايد من بنيات الصفيحة التكتونية. والمدهش في الأمر هو أن تجلداً كان حدث في ذلك الوقت، ترافق مع تنوع فجائي للحياة، وتزايد في أكسجين الغلاف الجوي، وتآكل صدئي للمحيطات وظهور بدائي لخلية حقيقية النواة[754]. والسؤال الذي لم يُجَب عنه هو: هل شملت هذه الفترة من بنيات الصفيحة التكتونية السريعة تنوعاً للحياة؟ إن أحجام المحيطات أساسية للحياة. فلو كان حجم محيطات الأرض أكبر، لما كانت هناك قارات على الأرض ولكانت الأرض مثل قمر المشتري أوروبا (Europa)، من دون يابسة، فقط محيطات عمقها 100 كيلومتر ومغطاة بالجليد. وفي هذه البيئة، لا تعيش سوى البكتريا ابتدائية النواة (Prokaryotic Bacteria). ولما كان هنالك مياه ضحلة لتكوين حجر الكلس، ولاتجوية قارية لتعزيز احتياطي المواد الغذائية اللازمة للحياة في المحيطات.

ماذا لو غطت الأرض اليابسة 70 في المئة بدلاً 30 في المئة كما هو حالنا اليوم؟ فإذا غطت القارات 70 في المئة من الكرة الأرضية، لكنا توقعنا تأرجحاً كبيراً وسريعاً في درجات الحرارة لأن المساحات الواسعة من اليابسة تحدث اختلافات في درجات الحرارة الفصلية عالية جداً ومنخفضة جداً. كما أن مساحات اليابسة الكبيرة تقلل من انخفاض الـ CO_2 لأن تكون الكربونات يكون في المحيطات، وفي مناطق تسود فيها اليابسة، فتصبح فرصة انتعاش الحياة منخفضة. وإذا لم تكن بنيات الصفائح التكتونية عاملة، إذن لمَا كانت هناك قارات. حيثما تكثر المياه، نحصل على محيطات عميقة، ولن يكون هناك انكسار طبيعي في بناء الـ CO_2. وينتج من هذا تأثير بيوت زجاجية أسرع. ويزال

(754) الحياة حقيقة النواة هي خلية لها نواة تكون فيها المادة الجينية محمية، بينما لا تحوي الحياة البروكاريونية نواة خلية.

الـ CO_2 من الغلاف الجوي ليخزن في حجر الكلس، وهو صخر كان نادراً جداً قبل 2500 مليون سنة، وصخر ازداد حجمه كثيراً مع الزمن. وهذا هو سبب تناقص CO_2 خلال الزمن والذي سيستمر في الانخفاض. ولما كان حجر الكلس يتكون بشكل رئيسي في شُعَب صخرية (Reefs) في مياه عمقها أقل من ستة أمتار، فتكون المياه الضحلة أساسية لوقف تكوين تأثير الدفيئة. لقد جلبت التجوية القارية مواد كيميائية للبحر، وإن تغيّر تركيب مياه البحر أضاف مواد غذائية إلى المياه الضحلة. إن التجوية عملية تستهلك الحمض. وكانت المحيطات المبكرة حمضية، ولم تتمكن من التغير من حمضية إلى قلوية إلا بعد فترة طويلة من التجوية. والكائنات التي تتحمل عوامل قاسية (Extremophiles) لا تستطيع العيش في مياه حمضية، حيث لا يتمكن أي حيوان صدفي أن يعيش، وذلك لتفكك صدفته الكربونية. ومرةً أخرى، فإن القارات (التي تكونت من بنيات الصفائح التكتونية) والتجوية الناتجة هي التي ساعدت في تفجر الحياة.

لقد نجحت الأرض في سعيها. فمن دون القارات كان الجو سيكون حاراً جداً، لأن سلسلة نجوم مثل الشمس تزيد خرج الطاقة خلال الزمن ومع يابسة قارية كبيرة، فإن CO_2 الذي يترسب خلال التجوية ينتج تجلداً دائماً.

حدثت عمليات أساسية أخرى، وربما متعلقة بها في ذلك الزمن. فقد بيّنت نظائر الأكسجين والكربون أن الأرض كانت تتمتع بتجلد استوائي[755] في الفترة من نحو قبل 2400 إلى 2100 مليون عام[756] توقفت فيها الحياة على الأرض تقريباً[757]. وكانت هذه الأزمنة من الشح الفظيع موشاة بانفجارات بيولوجية تكاثرية كبيرة. وغذّت هذه الانفجارات تراكيز CO_2 الجوي العالية، وإطلاق المواد الغذائية في المحيطات نتيجة لذوبان الجليد، ودرجات الحرارة الأدفأ. وإننا نرى من خلال الأقمار الاصطناعية أن المحيطات شبه الاستوائية تحوي حتى يومنا هذا كائنات حية أقل من البحار العاصفة متوسطة البعد عن

(755) التجلد الهوروني (Hunorian glaciations).

(756) J. W. Schopf and C. Klein, eds., *The Proterozoic Biosphere: A Multidisciplinary Study* (New York: University Press, 1992).

(757) R. E. Kopp [et al.], «The Palaeoproterozoic Snowball Earth: A Climate Disaster Triggered by the Evolution of Oxygenic Photosynthesis,» *Proceedings of the National Academy of Sciences,* vol. 102 (2005), pp. 1131-1136.

خط الاستواء، والبحار الباردة شبه القطبية المزودة تزويداً أفضل بالمواد الغذائية. وللمحيطات والبحار الهادئة قلة من المواد الغذائية. وكان هناك أزمنة في تاريخ الأرض ازداد فيها محتوى الأكسجين في الغلاف الجوي فجأةً. وحدث ذلك مباشرةً بعد التجلد. من المعروف أن المياه المنصهرة تجلب مقادير كبيرة من المواد الغذائية إلى المحيطات، مما يفتح المجال للكائنات المجهرية التي تتغذى بالتركيب الضوئي، التي تضيف الأكسجين إلى الغلاف الجوي[758][759][760].

كانت فترة كونية قبل 2400 ـ 2200 مليون عام عندما صدأت المحيطات. فقد برهنت جميع ترسبات الحديد الرئيسية في العالم التي تكونت في ذلك الزمن، حصول تزايد عالمي مفاجئ في تركيز الأكسجين في الغلاف الجوي. إضافةً إلى ذلك، كان هناك تنوع من كائنات أحادية الخلية بدائية النواة تتطور إلى كائنات وحيدة الخلية حقيقية النواة أكثر تعقيداً. كما كان ذلك زمن الإبادة الجماعية بالغاز، فغاز الأكسجين سام للخلايا بدائية النواة، وتحمي النواة الحقيقية الخلية من الأكسدة. وهكذا، كادت هذه الفترة من الأكسجة العالمية المتزايدة أن تؤدي إلى انقراض جماعي للحياة بدائية النواة أو «البروكاريوتية»، مع بقاء لاجئين مختبئين في بيئات فقيرة بالأكسجين[761]. ولاتزال حيوات «بروكاريوتية» كهذه تختبئ من الأكسجين في مستنقعات، وفي عمق الصخور وفي ثنايا معدتك. والأدهى أن الأكسجين قد تغير من أقل من 1 في المئة إلى أكثر من 2 في المئة في الغلاف الجوي. لماذا؟

هناك نظريتان: **الأولى** تعمل على تفكيك المياه إلى أكسجين وهيدروجين (الذي يفقد في الفضاء) بالإشعاع فوق البنفسجي الذي يضرب المحيطات. وقد

---

(758) Y. Asmeron [et al.], «Strontium Isotope Variations of Neoproterozoic Sea Water: Implications for Crustal Evolution,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 55 (1991), pp. 2883-2894.

(759) S. B. Jacobse and A. J. Kaufman, «The Sr, C and O Isotope Evolution of Neoproterozoic Seawater,» *Chemical Geology*, vol. 161 (1999), pp. 37-57.

(760) J. A. Higgins and D. P. Schrag, «The Aftermath of Snowball Earth,» *Geochemistry, Geophysics Geosystems*, vol. 4 (2003), doi: 10.1029/2002GC000403.

(761) D. E. Cranfield, «The Early History of Atmospheric Oxygen,» *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, vol. 33 (2005), pp. 1-36.

يعطي ذلك زيادة خفيفة إلى أكسجين الغلاف الجوي، غير أنه بمجرد ما يغير الإشعاع الأكسجين إلى أوزون، يتوقف التفاعل. وتشمل النظرية **الثانية** الظهور المفاجئ للأكسجين في الغلاف الجوي باختراع التركيب الضوئي في البكتريا. ويستعمل التركيب الضوئي CO_2 كمادة أساس للتفاعل. وكان لهذه الآلية المعقدة والفاعلة للبقاء خطر أقل من الاعتماد على الطاقة من تفاعلات كيميائية في الصخور، والينابيع الحارة وحرارة المواد النشطة إشعاعياً، وسمحت بالتوسع إلى مواضع وأعشاش صغيرة يمكن ملؤها بحياة جيدة. وتبيّن أكسجة الغلاف الجوي قبل 2400 ـ 2200 مليون عام أن الحياة، والهواء، والماء، والصخور تتفاعل جميعها. حدث ذلك في الماضي، ولا يزال يحدث. ومعظم الأحداث التي تمّت قبل 2200 مليون عام وإلى الآن لا تزال غير مؤكدة تماماً[762]. ويخفي السجل الجيولوجي أسراراً كثيرة يمكن أن تساعدنا على فهم العالم الحديث، فقد يكون انخفاض في الميثان الجوي أدى إلى تزايد في الأكسجين الجوي[763]. وربما كانت هناك محاولات مخفقة مبكرة لأكسجة الغلاف الجوي أو لانهيار الميثان الجوي.

لو كانت درجة حرارة مياه البحر فوق 100 درجة مئوية، لكانت المحيطات قد غلت، ولمَا كانت هناك حياة. ويمكن للكائنات التي تحب الحرارة والميثانيات أن تعيش ضمن درجات حرارة أعلى من 100 درجة مئوية، وكانت موجودة قبل 3800 مليون عام. ويمكن للسيانوبكتريا (Cyanobacteria) (بكتريا زرقاء داكنة) أن تعيش ضمن 70 ـ 73 درجة مئوية. وقد ظهرت هذه الكائنات لأول مرة قبل 3500 مليون عام. وقد أحبتها هذه «البروكاريوتية»، حارة. وظهرت «البروكاريوتية» (حقيقية النواة) من ناحية أخرى قبل 2400 إلى 2200 مليون عام، ويمكنها أن تتعايش مع حرارة حتى 60 درجة مئوية، ثم ظهرت حيوانات ناعمة الجسم ومتعددة الخلايا قبل 1500 ـ 1000 مليون عام، يمكنها أن تتعايش مع حرارة تصل إلى 50 درجة مئوية، وظهرت نباتات الأرض التي تتعايش مع حرارة تصل إلى 50 درجة مئوية قبل 470 مليون عام. إن نشوء الحياة

(762) D. C. Catling and M. W. Claire, «How the Earth's Atmosphere Evolved to an Oxic State: A Status Report,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 237 (2005), pp. 1-20.

(763) K. Zahnle, M. Claire and D. Catling, «The Loss of Mass-Independent Fractionation in Sulfur Due to a Palaeoproterozoic Collapse of Atmospheric Methane,» *Geobiology*, vol. 4 (2006), pp. 271-283.

على الأرض يتعلق كثيراً بدرجة الحرارة، ولم يكن في الكوكب حياة في الـ 3500 مليون عام الأولى من عمره، ولم يكن فيه حيوانات كبيرة بما يكفي لترك أحفوري للـ 4000 مليون عام الأولى أيضاً.

ما هي فرص الحياة متعددة الخلايا على الأرض؟

ما هي فرص العثور على حياة متعددة الخلايا في أماكن أخرى في الكون؟ أدت تذبذبات الجاذبية للنجوم، والكسوف النجمي، وانحناء الضوء النجمي إلى اكتشاف كواكب بحجم المشتري خارج النظام الشمسي. ويبيّن ضوء النجوم الذي يمر من خلال الأغلفة الجوية لهذه الكواكب أنه لا يوجد أوزون، وبالتالي لا يوجد أكسجين. ولن يكون هناك تركيب ضوئي ولا وجود لحياة مركبة من غير أكسجين. وهذا لا يعوق حياة البكتريا، التي يمكن أن تعيش من دون أكسجين. وهنالك نظرة شائعة تقول إنه مع اكتشاف أكثر من 200 كوكب خارج نظامنا الشمسي الآن، توجد مليارات النجوم في الكون، وهناك احتمال أن تكون ملايين الكواكب متعلقة بهذه النجوم. وعليه، فإن احتمال وجود حياة بكتيرية في أماكن أخرى من الكون هو 100 في المئة[764][765]. غير أن هذا لا يعني أن فرصة وجود حياة متعددة الخلايا في أماكن أخرى في الكون هي 100 في المئة[766] أيضاً.

وأقول إن إمكانية وجود حياة متعددة الخلايا في أماكن أخرى من الكون ضئيلة، فإن كوكب الأرض بيئة نادرة جداً. وإذا كانت الحياة متعددة الخلايا على الأرض فعلاً تميزياً، فهذا يفتح المجال لأسئلة ثيولوجية عميقة.

ولعل موقع الأرض في مجرتنا، «درب التبّانة (أو اللبانة) (Milky way)»، عامل رئيسي في هذا الأمر[767]. ففي المجرات المليئة بالنجوم يعوق تردد

---

(764) G. W. Wetherill, «Occurene of Earth-Like Bodies in Planetary Systems,» *Science*, vol. 253 (1991), pp. 535-538.

(765) D. M. Williams, J. F. Kasting and R. A.Wade, «Habitable Moons around Extrasolar Giant Planets,» *Nature*, vol. 385 (1997), pp. 234-236.

(766) C. McKay, «Time for Intelligene on other Planets,» in: *Circumstellar Habitable Zones*, edited by Laurance R. Doyle; Introduction by Carl Sagan (Menlo Park, CA: Travis House Publications, 1996), pp. 405-419.

(767) S. Chang, «The Planetary Setting of Prebiotic Evolution,» in: S. Bengston, ed., *Early Life on Earth*, (New York: Columbia University Press, 1994), pp. 10-33.

السوبرنوفا والصدام بين النجوم المتقاربة النجوم المستقرة داخل المجرات، وإن المناطق الخارجية للمجرات فقيرة بالمعادن، وبالتالي فإن مادة الكواكب الصخرية ليست حاضرة. وهذا مهم لأنه إذا لم يكن للكواكب محتوى يورانيوم عالٍ، فلا يمكن للكوكب أن يكون ذا لب ساخن لمليارات السنين. هذا ويتحرك نظامنا الشمسي في مستوى درب التبّانة ما يخفض من فرص ارتطام نجم أو كوكب، أو كويكب، أو مذنب، بكوكب الأرض. وعلى الرغم من أن الأرض قد تأثرت بغيرها من الكواكب في الماضي، إلا أن فرص الارتطام بجسم كبير تتناقص مع الزمن، وشهدت الأرض زمناً طويلاً من دون ارتطامات كارثية مدمرة لها[768].

يتعلق جسم المجرة بالمحتوى المعدني[769]. وربما كان المحتوى المليء بالمعادن للكواكب الداخلية لنظامنا الشمسي حالة شاذة تعكس الطبيعة غير العادية لمجرتنا. وإن المجرات الأكثر بعداً حديثة العمر أصغر من أن يكون فيها معادن كافية لتكوين كواكب صخرية. وأن يكون لها نشاط شبه نجمي وسوبرنوفا يصدر إشعاعاً مدمراً للحياة. وهناك مجموعات نجمية عنقودية فقيرة بالمعادن، على الرغم من أن نجومها يصل عددها إلى مليون نجم. وقد نشأت نجوم شمسية كبيرة ونمت فأصبحت عملاقة وساخنة جداً، فلا فرصة للحياة فيها أو على كواكبها الداخلية، إضافةً إلى شيوع الأحداث النجمية الكارثية المدمرة فيها. كما أن المجرات الإهليليجية (البيضوية) الشكل فقيرة جداً بالمعادن وساخنة، وكذلك المجرات الصغيرة. وفي مراكز المجرات تتوفر إشعاعات كبيرة تمنع قيام الحياة. وإن التوجيه المجري (Galactic Address) أساسي للحياة من نوع وحيدة الخلية، وخاص للحياة متعددة الخلايا.

يدور كوكب الأرض حول نجم ينتج طاقة مستقرة نسبياً[770]. وعلى الرغم من أن حياة البكتريا قد توجد في بيئات بعيدة جداً في كواكب وأقمار أخرى في النظام الشمسي، إلا أن النباتات متعددة الخلايا وحياة الحيوان على الأرض تحتاج إلى ظروف معتدلة، وأن هذه الظروف وجدت في بيئة مستقرة تقريباً

(768) K. A. Maher and D. J. Stevenson, «Impact Frustration on the Origin of Life,» *Nature*, vol. 331 (1988), pp. 612-614.

(769) M. H. Hart, «Habitable Zones around Main Sequence Stars,» *Icarus*, vol. 33 (1979), pp. 23-39.

(770) L. V. Ksanfomaliti, «Planetary Systems around Stars of Late Spectral Types: A Limitation for Habitable Zones,» *Astronomicheskii Vestnik*, vol. 32 (1998), p. 413.

لمليارات السنين؛ فلقد تطلب أكثر من ملياري عام من تاريخ الأرض قبل أن يصبح الغلاف الجوي مؤكسداً. غير أن CO_2 غاز مشترك في جميع كواكب نظامنا الشمسي، وفي المذنبات وغيرها من الأجسام خارج الأرض. ولا يعني مجرد وجود CO_2 في الغلاف الجوي للأرض اليوم أنه قد استُمد من النبات أو النشاطات البشرية. ولو نشأت الحياة متعددة الخلايا في عوالم أخرى، فلن يتوقع لها أن تعيش بسبب تدفقات الطاقة النجمية المتنوع. لذلك فإننا لا نتوقع حياةً معقدة مرتبطة بنجوم ثنائية وثلاثية[771]. وقد لا نعرف كم من الكواكب التي تطورت فيها الحياة من حياة بكتيرية إلى حياة متعددة الخلايا قد أزيلت باصطدام كوني أو بالطاقة المنبعثة من نجم أدنى. ولدينا بالطبع الظرف الصحيح في نظامنا الشمسي[772]، فلدينا المسافة الصحيحة عن الشمس لإيقاف التجمد أو الغليان للمياه السائلة. وإنا بعيدون عن الشمس بعداً كافياً لتجنب ظاهرة غلق المد (Tidal Lock)، وكتلة الشمس تعطيها حياة طويلة لإصدار الطاقة وطاقة الأشعة فوق البنفسجية (UV) القليلة، وإن للأرض مداراً كوكبياً مستقراً حول الشمس[773]، وليس لكثير من الكواكب الكبيرة المكتشفة حديثاً مدار مستقر.

إن بعض الكواكب الشمسية تكون إما قريبة جداً (عطارد) من الشمس أو بعيدة جداً (المشتري) عنها فلا تتواجد المياه السائلة على سطحها. ويمكن للمياه السائلة أن تتواجد إذا أصدرت الشمس مقداراً مستقراً من الطاقة فترة زمنية طويلة، وإذا لم يكن مدار الأرض غير متراكز[774]. إضافةً إلى ذلك، فإن الاصطدامات بين الكواكب تبخر بشكل كبير مياه السطح على الأرض، ولأن اصطدامات كبيرة كهذه لم تحدث خلال الـ 4000 مليون عام الماضية من تاريخ الأرض، فقد احتفظت الأرض بمياهها السائلة الثمينة[775]. وإنا محظوظون لكون

(771) D. P. Whitmore [et al.], «Habitable Planet Formation in Binary Star Systems,» *Icarus*, vol. 132 (1998), pp. 196-203.

(772) G. W. Wetherill, «Provenance of Terrestrial Planets,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 58 (1994), pp. 4513-4520.

(773) J. F. Kasting, D. P. Whitmore and R. T. Reynolds, «Habitable Zones Around Main Sequene Stars,» *Icarus*, vol. 101 (1993), pp. 108-128.

(774) J. F. Kasting, «Runaway and Moist Greenhouse Atmospheres and the Evolution of Earth and Venus,» *Icarus*, vol. 74 (1988), pp. 472-494.

(775) N. H. Sleep [et al.], «Annihilation of Ecosystems by Large Asteroidal Impacts on the Early Earth,» *Nature*, vol. 342 (1989), p. 139.

المشتري، مع ثلثي كتلة الكواكب في النظام الشمسي، يعمل كمنظف فراغي جاذبي (Gravitational vacuum clearner) كبير يشفط المواد التي بقيت في النظام الشمسي بعد التكون الكوكبي الأولي. وهذه هي الحال بالذات حيث يتواجد الحزام الكويكبي بين المريخ والمشتري. ومن دون المشتري، يكون معدل الاصدام بالأرض أعلى، وربما لم تكن هناك فرصة للحياة متعددة الخلايا أن تنشأ.

إننا نعيش في جوار جيد. وإن الأرض هي الكوكب الوحيد الذي لديه قمر قريب حجمه مقبول[776]. ولا يقوم القمر باستدراج كواكب أخرى بجاذبيته فقط، بل يجعل مدار الأرض مستقراً أيضاً. ومن دون استقرار كهذا، تتذبذب الأرض أكثر مما تفعل، ولكانت هناك تغيرات موسمية أعظم[777]. فالحجم مهم. ويسمح حجم الأرض للغلاف الجوي والمحيطات أن تكون ملتصقة بجاذبية بالأرض. كما يسمح الحجم بسخونة كافية لبنيات الصفائح التكتونية، وبسخونة كافية للحفاظ على اللب منصهراً لمليارات السنين[778][779]. ولقد أعطى لب الأرض المنصهر الأرض مجالاً مغنطيسياً. ويحمي هذا المجال المغنطيسي الأرض، لأن في الغلاف الجوي وقاءاً مغنطيسياً عالياً[780]. ولولا هذا الوقاء المغنطيسي، لشويت الحياة متعددة الخلايا على الأرض بالإشعاع الشمسي والكوني، ولعصفت الرياح الشمسية بمحيطات الأرض والغلاف الجوي. وتحرر التفاعلات الكيميائية في الغلاف الجوي العلوي أوزوناً، يعمل بدوره كدرع واق.

إن أقرب الكواكب إلينا من الجوار، المريخ، وهو أصغر كثيراً من الأرض، وقد تجمد لبه. وأدى ذلك إلى فقدان المجال المغنطيسي للمريخ الذي

---

(776) لقد أخطأ بلوتو في تصرفه وجرد من وضعه الكوكبي. كما أن لديه قمراً كبيراً أدنى.

(777) J. Laskar, F. Joutel, and P. Robutel, «Stabilization of the Earth's Obliquity by the Moon,» *Nature*, vol. 361 (1993), pp. 615-617.

(778) K. C. Condie, *Plate Tectonics and Crustal Evolution* (New York: Pergamon, 1984).

(779) V. Solomatov, and L. Moresi, «Three Regimes of Mantle Convection with Newtonian Viscosity and Stagnant Lid Convection on the Terrestrial Planets,» *Geophysical Research Letters*, vol. 24 (1997), pp. 1907-1910.

(780) M. W. McElhinny, *Paleomagnetism and Plate Tectonics* (Cambridge, MA: University Press, 1973).

حمى المريخ من الإشعاع الكوني وقذف الجسيمات الشمسية بعيداً. وكانت النتيجة أن جرفت الرياح الشمسية غلافه الجوي ومحيطاته[781]. وربما كان للمريخ محيطات قبل الأرض، وكان فيه براكين، فبردت الصخور البركانية الجديدة بالماء. وكان هذا الماء يصدر من المريخ كنبع حار، وبرك من وحل فعلي. وهي البيئة الممتازة لحياة البكتريا. ولذلك، يجب أن تتوفر أحفوري لبكتريا كانت موجودة على المريخ، ولعل هذه الحياة المبكرة لا تزال لاجئة فيه وتعيش في تصدعات في أعماق صخوره.

تحافظ الشمس على الحياة متعددة الخلايا الموجودة على الأرض وتعطي طاقة ثابتة ووقاية من الهجمات المَجرِّية المستمدة من جسيمات عالية الطاقة منبعثة من السوبرنوفات. ومن أجل أن نفهم الحياة متعددة الخلايا على الأرض، نحتاج إلى فهم النظام الشمسي المغنطيسي، وتغيره، وانفجاراته الشمسية العظمى والتفاعل بين الهيليوسفير والغلاف الجوي والغلاف المغنطيسي للأرض.

إن النشاط الإشعاعي أساسي للحياة متعددة الخلايا على الأرض[782][783]. ويعطي تفكك اليورانيوم والثوريوم والبوتاسيوم في عمق الأرض سخونة. تنقل سخونة اللب والسخونة الإشعاعية من عمق الأرض إلى قرب السطح. ويتفكك صدع هائل من السخونة إلى أجزاء تحت صخور صلبة تمزق قشرة الأرض[784]. وتسحب الصدوع الحارة النازلة في أماكن أخرى، الأرض إلى الأسفل. ويؤدي تحرك هذا الحزام الناقل للطاقة الحرارية الهائلة إلى الأعلى والبرودة إلى الأسفل ما يؤدي إلى تفكك ورتق أجزاء الأرض من جديد[785]. وتعمل حركة الصفائح التكتونية هذه، منذ آلاف ملايين السنين. وإن الأرض هي الكوكب الوحيد في النظام الشمسي الذي تتكون قشرته من صفائح تكتونية.

---

(781) M. H. Carr, «Mars: Aquifers, Oceans and the Prospects for Life,» *Astronomichskii Vestnik*, vol. 32 (1998), p. 453.

(782) W. Broecker, *How to Build a Habitable Planet* (New York: Eldigio Press, 1985).

(783) P. D. Ward and D. Brownless, *Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe* (New York: Copernicus, 2000).

(784) R. I. Hill [et al.], «Mantle Plumes and Continental Tectonics,» *Science*, vol. 256 (1992), pp. 186-193.

(785) R. L. Larsen, «Geological Consequences of Superplumes,» *Geology*, vol. 19 (1991), pp. 963-966.

لولا الصفائح التكتونية، لكانت الأرض محيطات عميقة فقط من دون يابسة. وإن اليابسة الواسعة القارية ومواضع المياه الضحلة أساسية للحياة متعددة الخلايا على الأرض. وتعطي بنية الصفائح تنوعاً بيئياً للحياة على الأرض. وبدونها ليست هناك آلية للتجوية، والتآكل، والترسب، واختزان الكربون وإعادة دورات الماء وثاني أكسيد الكربون وغيره من مواد الأرض. توفر الصفائح التكتونية التعديل الحراري الذي يمنع الاحتباس الحراري. من ناحية أخرى تطرح التجوية المواد الغذائية إلى المحيطات وتصبح المياه عالقة في عناصر التجوية. كما تحدث التجوية في بيئات قارية وبحرية، فتدفع المياه في صخور التجوية إلى الأسفل نحو الأرض، وتيتح ذوابانات جزئية لإنتاج ذائبات قارية خفيفة (SIAL). ويطفو الـ SIAL على قشرة بازلتية (SIMA). ويمكن للقارات أن تندفع، وتتكسر وأن يسكنها مغفلون، ولكنها لا تختفي. وتعكس القارات الطاقة، ويمكن أن تتجمد، وأن تغير أنماط دورة مياه المحيط وأن توفر الغذاء للبحر.

لو توقفت حركة الصفائح التكتونية، فستتوقف دورات H_2O وCO_2، وسيتجمد كوكبنا، وتتوقف الجبال عن التشكل، ويتوقف تزويد المحيطات بالغذاء. وعادة، تحرك سخونة النشاط الإشعاعي بنيات هذه الصفائح. إن النشاط الإشعاعي أساسي لإحداث بيئة حياتية على الأرض، ولكن السخونة المتحركة من عمق الأرض تنتج زلازل وبراكين. ويقول لنا النشاط الإشعاعي، والمغنطيسية، والزلازل، والبراكين، إن كوكبنا صحي، وناشئ ومتغير.

إن الماء أساسي للحياة، ولكنه في الحقيقة مادة غير عادية، فإن لجزيء منه، وزنه الذري 18، درجة غليان مرتفعة جداً. فعلى سبيل المثال، المقارنة، للأمونيا وزن ذري مشابه (17) ولكن درجة غليانها ـ 33 درجة مئوية. فلماذا لا يغلي الماء بدرجة حرارة مشابهة. من ناحية أخرى يجب أن يكون جليد الماء أكثف من الماء السائل. ولكنه ليس كذلك. وإن الماء مستقر ضمن درجات حرارة عليا، ولكن مواد أخرى لها وزن ذري مشابه ليست مستقرة مثله. ولتغيير الأوضاع من الجليد إلى الماء أو من الماء إلى البخار، نحتاج إلى مقدار كبير من الطاقة. ويتصرف سطح الماء السائل وكأنه مغطى بصفيحة مرنة، ولا يتصرف مثل السوائل الأخرى فله شبكة ممتدة من ترابطات الهيدروجين، وقوى متجانسة تمسك جسيمات الماء مع بعضها البعض. وإذا لم يكن للماء جزيء

على شكل V وترابطات هيدروجين، لن تستطيع المواد الغذائية أن تغذي الخلايا، ولن تمسك السخونة في قعر المحيطات، ولكانت حرارة سطح الكوكب أقل من 18 درجة تحت الصفر المئوي، ولتجمدت المياه من الأسفل إلى السطح. ولن تكون هناك حياة متعددة الخلايا على الأرض؛ فالحياة وجدت على الأرض لأن الماء غريب.

إننا نميل إلى التفكير بأن الأرض كوكب مليء بالكربون لأن الحياة مبنية عليه. ومقارنةً بكواكب حجرية وأحجار نيزكية أخرى، فإن للأرض محتوى ضئيلاً من المياه والكربون. ويبدو أن مقداراً صغيراً من الماء والكربون أساسي للحياة، وإن الكثير من الماء يدمر الموائل الأرضية وموائل المياه الضحلة، وكثير من الكربون، مثل CO_2، يُحدث احتباسات حرارية هنا وهناك، وبتوفر قليل منه يعمل الماء كملطف حراري يقلل أو يوقف الاحتباس. وإن للأرض المقدار الكافي من الماء والكربون، وإعادة التدوير من خلال حركة الصفائح التكتونية، يبقيها في وضع ثابت. وتحتوي الأرض إجمالاً على 0.5 في المئة فقط ماء، وهذا كاف للحفاظ على محيطات حجمها غير قليل. وعلى الرغم من أن مقادير صغيرة من الماء تضاف باستمرار إلى الأرض من تسامي المذنبات في الغلاف الجوي العلوي، إلا أن مياه الكوكب الأرضي مستمدة أساساً من عمق الأرض. وتأتي بعض هذه المياه من أحداث عديدة، منها إعادة التدوير (الدورات الطبيعية) وبعض منها مياه أصلية حبست في الكوكب عند تكوّن الأرض.

وعندما ننظر إلى عدد الأحداث غير العادية التي لزمت لتكوين حياة متعددة الخلايا على الأرض، نجد أن تكوّن الحياة متعددة الخلايا في الكون كان حدثاً نادراً وفريداً.

تركت الأحياء متعددة الخلايا الميتة مركبات من نوع الكولسترول في ترسبات. وكان هنالك إشارات كيميائية إلى وجود عدد من محاولات للابتداء بحياة متعددة الخلايا قبل حوالى 1500 إلى 1000 مليون عام. إلا أنه لا تتوفر أحفوري محفوظة تدعم ذلك، وعلى الرغم من أن هذه المحاولات كانت ناجحة، إلا أنه لم يكن ممكناً أن تستمر لقسوة الظروف البيئية آنذاك. وقد تطلب الأمر تغيراً شاملاً في المناخ، سُمّي (تغير المناخ الأكبر) لكي يدفع إلى بداية الحياة متعددة الخلايا.

تغير المناخ الأكبر في العالم

في أقسام متعددة من العالم هنالك سلسلتان منفصلتان من الصخور الجليدية تعود إلى ما قبل 750 إلى 580 مليون عام[786]. وتبيّن التقنيات الكيميائية أن هناك تجلدات ثلاثة قد حدثت[787]، وهي تسمى التجلدات النيوبروتوزوكية (Neoproterozwic)، وقد وصفها بعضهم بأن الأرض كانت حينها كرة ثلج[788]، أو ربما كرة نصف ثلجية[789]. وكانت سماكة بقايا الترسبات الجليدية 1500 متر[790]. وحدثت تجلدات لاحقة قبل 450 إلى 420 مليون عام (ثانوية)، و300 ـ 260 مليون عام (رئيسية)، و151 ـ 132 مليون عام (ثانوية)، وإن التجلد الكبير الحالي شهد جليد «القطب الجنوبي» قبل 34 مليون عام، وجليد غرينلاند قبل 2.67 مليون عام.

إن الدليل على أن الـ CO_2 الجوي لا يحرك المناخ يمكن استخلاصه من التجلدات السابقة. فقد حدثت تجلدات أوردوفيشيان ـ سيلوريان (Ordovician-Silurian) (450 ـ 420 مليون عام) والجوراسيك ـ كريتاكيوس الطباشيري (Jurassic-Cretaceus) (151 ـ 132 مليون عام) عندما كان محتوى CO_2 الجوي أكثر من (4000ppmv) و2000 جزء بالمليون بالحجم (ppmv) على التوالي[791]. وكان محتوى تجلد الكاربونيفيروس ـ برميان (360 ـ 260 مليون عام) ومحتوى CO_2 فيه حوالى 400 ppmv، وهذا أعلى بـ 15 ppmv من الوضع الحالي. وإذا قبلت النظرة الكارثية المشاعة، فلا بد أنه كان هناك احتباس حراري جار عندما كان تركز CO_2 في الجو يزيد على 4000 ppmv. وبدلاً من ذلك، كان هناك

---

(786) P. R. Dunn, B. P. Thomson and K. Rankama, «Late Pre-Cambrian Glaciations in Australia as a Stratigraphic Boundary,» *Nature*, vol. 231 (1971), pp. 498-502.

(787) G. P. Halverson [et al.], «Toward a Neoproterozoic Composite Carbon-Isotope Record,» *Geological Society of America Bulletin*, vol. 117 (2005), pp. 1181-1208.

(788) P. F. Hoffman and D. P. Schrag, «The Snowball Earth Hypothesis: Testing the Limits of Global Change,» *Terra Nova*, vol. 14 (2002), pp. 129-155.

(789) J. G. Meert and R. van der Voo, «The Neoproterozoic (700-540 Ma) Glacial Intervals: No More Snowball Earth,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 123 (1994), pp. 1-13.

(790) G. M. Young and V. A. Gostin, «An Exceptionally Thick Late Proterozoic (Sturtian) Glacial Succession in the Mount Painter Area, South Australia,» *Geologial Society of America Bulletin*, vol. 101 (1989), pp. 834-845.

(791) R. A. Berner and Z. Kothavala, «Geoarb III: Revised Model of Atmospheric CO_2 Over Phanerozoic Time,» *American Journal of Science,* vol. 301 (2001), pp. 182-204.

تجلد. ومن الواضح أن تركيز CO_2 العالي لا يحرك الاحترار الكوني، وليست هناك علاقة بين درجة الحرارة الكونية وتركيز CO_2 الجوي. إلا أن ذلك لم يتم تناوله من قبل أولئك الذين يقولون إن إضافات الإنسان من الـ CO_2 إلى الغلاف الجوي ستحدث احتراراً كونياً.

إن أسرار التجلد ودلائله مكتوبة في الصخور. ويترك إعادة تكرير الجليد الحصى على حافة صفائح الجليد ونهاياتها[792]، ويمكن إعادة عمل ذلك بالمياه المنصهرة. وإن الصخور الجليدية الأرضية مثل التليت (Tillite) شائعة، مثل التربة الصخرية المتجمدة السرمدية[793][794]. ولقد كانت البحيرات الجليدية مغطاة بالجليد في الشتاء، وقليل فقط من الدقائق الطينية ترسبت فيها لتشكيل طبقات رقيقة، بينما كوّنت المياه المنصهرة في الصيف طبقات رملية أكثر سماكة. إن هذه الصخور الطبقية التي تتكوّن سنوياً (صخور رخوة Varve (Shales) شائعة. وتدل حقيقة أن الحجارة الأرضية والبحرية العميقة تكوّنت مع بعضها البعض خلال التجلد «النيوبروتيروزوكي» أنه كان هناك كثير من الماء محبوساً بالجليد، حتى أنه لم يكن هناك جرف قاري. وهذا يعني أن ارتفاع مستوى سطح البحر وانخفاضه كان على الأقل 400 وربما 600 متر.

تشكل التسلسلات البحرية تخوتاً صخرية قطرية (Drop Boulder beds) مستمدة من جبال جليدية ذائبة في البحر في عمق الوحل البحري[795]، وتوجد في بعض الأماكن ترسبات أكسيد الحديد. ويعني ذلك وجود مجموعات جليدية ذائبة. ولا يمكن للأكسجين أن يخترق الجليد عندما يغطي سطح البحر، ولدى انخفاض سطح البحر تتفكك ترسبات أكسيد الحديد في قاع البحر. وعندما يبدأ الجليد بالتكسر يستطيع الأكسجين أن ينحل في ماء البحر، عندئذٍ يتأكسد الحديد المفكك ويترسب كأكسيد حديد غير ذائب. وتحوي بعض ترسبات أكسيد الحديد هذه

(792) (Till) طين قاس مشتمل على حجارة وحصى وغير ذلك من مخلفات نهر جليدي.

(793) G. E. Williams, «Precambrian Permafrost Horizons as Indicators of Palaeolimate,» *Precambrian Research*, vol. 32 (1986), pp. 233-242.

(794) A. C. Mallof, J. B. Kellog and A. M. Anders, «Neoproterozoic sand Wedges: Crack Formation in Frozen Soils under Diurnal Forcing during Snowball Earth,» *Earth and Planetary Science Letters*, 204 (2002), pp. 1-15.

(795) N. Christie-Blick, I. A. Dyson and C. C. van der Borch, «Sequence Stratigraphy and the Interpretation of Neoproterozoic Earth History,» *Precambrian Research*, vol. 73 (1995), pp. 3-26.

صخوراً جلمودية[796]. وكثير من الصخور «النيوبروتيروزوكية» والصخور المنعزلة مغطاة بترسبات كربون تشكلت خلال العصر ما بين الجليدي[797][798]. وتبيّن كيمياء الكربون أن درجة حرارة مياه البحر كانت 40 درجة مئوية، وكان هناك ازدهار للبكتريا داكنة الزرقة (Cyanobacteria) التي أزالت الـ CO_2 من الغلاف الجوي ببناء مسطبات طحالب بحرية. ولا بد أن مستوى سطح البحر تغير بسرعة شديدة لمئات الأمتار[799]. وهناك قول آخر هو أن انفجاراً حدث لهيدرات الميثان حرّكه المناخ، وإن دفء الجو جاء من زيادة غاز الدفيئة هذا، وأغلق الـ CO_2 ضمن حيود طحلبية بالبكتريا الزرق الداكنة بعد التأكسد[800]. ويقول البعض إن هذا الانخفاض في تركيز CO_2 ربما حرّك التجلد التالي.

إن التجلد «النيوبروتيروزوكي» أكثر إثارةً للاهتمام. فقد بيّن الحقل المغنطيسي لصخور النيوبروتيروزوكي أنه في ذلك الزمن، كانت القارات مجمعة حول خط الاستواء. ولم يكن التجلد فقط على خط الاستواء، بل كان أيضاً على مستوى سطح البحر[801]. وما يحتاج إلى شرح هو كيف انتقل الكوكب إلى تجلد طويل قارص، ثم تحول إلى فترة ما بين جليدية حارة رطبة، وكيف رجع بعدها إلى تجلد طويل، ثم رجع إلى ظروف مبتلة ما بين جليدية دافئة استمرت مئات الملايين من السنين قبل مجيء تجلد ثانوي قبل 450 ـ 420 مليون عام.

كان «التجلد الستورتي» (Sturtian Qlaciation) (قبل حوالى 730 مليون عام)

---

(796) B. G. Lottermoser and P. M. Ashley, «Geochemistry, Petrology and Origin of Neoproterozoic Ironstones in the Eastern Part of the Adelaide Geosyncline,» *Precambrian Research*, vol. 106 (2000), pp. 21-63.

(797) M. J. Kennedy, «Stratigraphy, Sedimentology, and Isotope Geochemistry of Australian Neoproterozoic Post-Glacial Cap Dolostones: Deglaciation, ^{13}C Excursions, and Carbonate Precipitation,» *Journal of Sedimentary Research*, vol. 66 (1996), pp. 1050-1064.

(798) M. J. Kennedy [et al.], «Two or Four Neoproterozoic Glaciations?,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 1059-1063.

(799) N. P. James, G. M. Narbonne and T. K.Kyser, «Late Neoproterozoic Cap Carbonates: Mackenzie Mountains, Northwestern Canada: Precipitation and Global Glaciations,» *Canadian Journal of Earth Sciences*, vol. 38 (2001), pp. 1229-1262.

(800) P. F. Hoffman, G. P. Halverson and J. P. Gotzinger, «Are Proterozoic Cap Carbonates and Isotope Excursions the Record of Gas Hydrate Destabilization Following Earth's Coldest Intervals? Comment,» *Geology*, vol. 30 (2002), pp. 286-287.

(801) L. E. Sohl, N. Christie-Blick and D.V. Kent, «Paleomagnetic Polarity Reversals in Marinoan (ca 600 Ma) Glacial Deposits of Australia: Implications for Low-Latitude Glaciations in Neoproterozoic Time,» *Geological Society of America Bulletin*, vol. 111 (1999), pp. 1120-1139.

معاصراً لتفكك قارة كبيرة اسمها رودينيا (Rodinia). وأنتج تفكك القارة مقادير كبيرة من البازلت في مناطق مليئة بالبراكين قبل نحو 825 و755 مليون عام. واطلقت انفجارات البازلت مقادير ضخمة من CO_2[802]. ويتفاعل البازلت النقي، وبخاصة ضمن مناطق استوائية، كيميائياً بشدة وتحدث فيه تجوية سريعة، ما يسرع استهلاك CO_2 من الغلاف الجوي، ويسبب ذلك ابتراداً مناخياً طويلاً[803].

وينتج من ملء الغلاف الجوي بالغبار (من تأثير البراكين، والمذنبات) انعكاسٌ لنور الشمس وابترادٌ للكوكب. وقد حدث هذا في الماضي (على سبيل المثال، انفجار بركان «تامبورا» في إندونيسيا عام 1815). غير أنه لا يوجد سجل أحفوري في الصخور ينبئ عن البراكين أو أثر تصادم كوكبي أو نيزكي قد يشير إلى ابتداء التجلد «النيوبروتيروزوكي». هذا وتأثر نصفا الكرة الأرضية من البراكين والآثار الاستوائية. وبالطرائق نفسها، تبين أنه كانت هناك فترة ابتراد طويلة في القرنين السابع عشر والثامن عشر (العصر الجليدي الصغير)، الذي تزامن مع نقص لنشاط كلف الشمس. وعليه فقد تُسبِب تغيرات في إشعاع الشمس تغيراً مناخياً سريعاً. غير أن شمسنا، في أزمنة النيوبروتيروزوك، وهي نجم رئيسي من سلسلة نجوم تسخن مع الزمن، كانت مظلمة وتصدر إشعاعاً أقل بكثير مما هو الآن. وربما كان سبب عدم تجمد الأرض كلها احتواء الغلاف الجوي النيوبروتيروزوكي على 100 إلى 1000 ضعف ما يحويه الآن من CO_2، وربما كانت هناك غيوم أقل؟

كان النظام الشمسي في ذراع ساجيتاريوس ـ كارينا (Sagittarius-Carina) خلال التجلد النيوبروتيروزوكي. وكان خلال التجلد التالي الذي كان ثانوياً، التقاء مع ذراع برسويس (Persus Arm). وحدث التجلد البرمو ـ كاربونيفيروس (Permo-Carboniferous) عندما كان التقاء مع ذراع نورما (Norma Arm)، ومن تجلد الجوراسيك إلى التجلد الكريتاسيوسي الأول، كان الكوكب في ذراع زمن سكوتوم ـ كركس (Period Scutum Crux Arm). وقد تبع الابتراد الأخير في المايوسين (ذراع ساغيتاريوس ـ كارينا) التجلد البلايستوسيني (أوريون سبور (Orion Spur))[804].

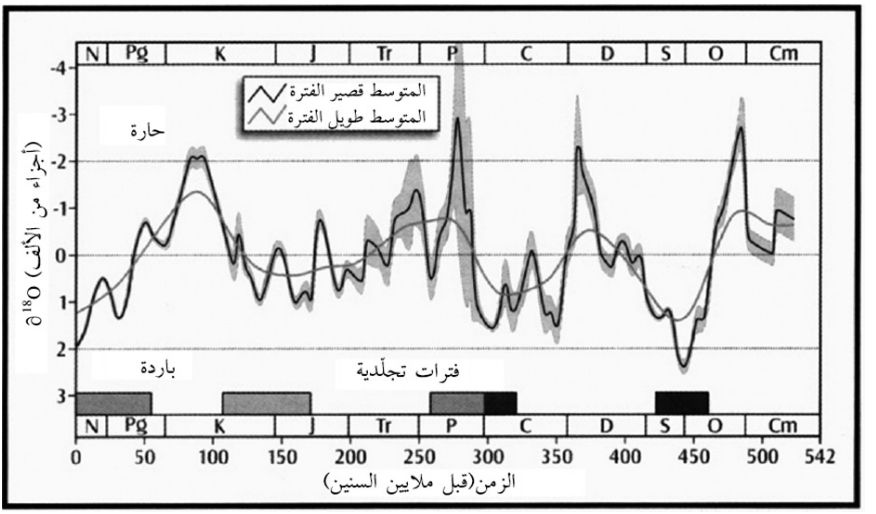
---

(802) B. Marty and I. N.Tolstikhin, «CO_2 Gluxes from Mid-Ocean Ridges, Arcs, and Plumes,» *Chemical Geology*, vol. 145 (1998), pp. 233-248.

(803) Y. Godderis [et al.], «The Sturtian «Snowball» Glaciation: Fire and Ice,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 211 (2003), pp. 1-12.

(804) N. J. Shaviv and J. Veizer, «Celestial Driver of Phanerozoic Climate,» *GSA Today*, vol. 13 (2003), pp. 4-10.

وهناك فكرة بأن بداية معظم الفترة الشديدة من تجلد البلايستوسيني قبل 2.75 مليون عام كان من الأشعة الكونية التي أصدرها سوبرنوفا فائق قريب[805]. وتشير بعض الدلائل إلى أن تذبذبات في مدار الأرض (دورات ميلانكوفتش) قد أثرت في المناخ لمئات الملايين من السنين[806][807]. وهناك تاريخ جيد من مد وجزر قمري متغير من النيوبروتيروزوكي حتى الآن[808][809]. فهل هناك أصل حيوي خارج الأرض للتجلد قابل للنمو، أم هل نحتاج إلى مجموعة من العوامل لإنتاج تجلد؟



الشكل 16: تغير المناخ خلال الـ 530 مليون سنة الماضية. مستدل عليه من نظائر الأكسجين O^{18} في الأصداف البحرية. لقد تغير المناخ خلال الزمن، وإن الأرض الآن في فترة تجلد. وكانت الأرض في معظم الـ 530 مليون عام الماضية أدفأ من الآن.

(805) K. Knie [et al.], «^{60}Fe Anomaly in Deep-Sea Manganese Crust and Iimplications for a Nearby Supernova Source,» *Physical Review Letters*, vol. 93 (2004), pp. 171103-171107.

(806) G. Pannella, «Paleontological Evidence of the Earth's Rotational History since the Precambrian,» *Astrophysics and Space Sciene*, vol. 16 (1972), pp. 121-137.

(807) J. Park and R. J. Oglesby, «Milankovitch Rhythms in the Cretaceous: A GCM Modeling Study,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 4 (1991), pp. 329-356.

(808) P. Goldreich, «History of the Lunar Orbit,» *Reviews in Geophysics*, vol. 4 (1966), pp. 411-439.

(809) G. E. Willimas, «Precambrian Tidal and Glacial Eustatic Clastic Deposits: Implications for Precambrian Earth-Moon Dynamics and Palaeoclimate,» *Sedimentary Geology*, vol. 120 (1998), pp. 55-974.

إذا انخفضت الانفجارات البركانية، فسيكون مقدار CO_2الداخل إلى الغلاف الجوي أقل ولأصبح الغلاف الجوي للكوكب أبرد. وهناك دلائل على أن التجلدات «النيوبروتيروزوكية» حصلت في فترة كانت فيها القوة البركانية منخفضة. غير أنه إذا كان كوكب الأرض شكل كرة ثلج، إذن لعكس الجليد الضوء والسخونة، ما لم يكن هناك تزايد دراماتيكي في الـ CO_2 في الغلاف الجوي، ولبقي الكوكب كرة ثلج. ولعلنا نحتاج إلى القوة البركانية الدورانية لتفسير حدثي التجلد النيوبروتيروزوكي. ولذلك، إن كان اختزال القوة البركانية الكونية هو سبب التجلد النيوبروتيروزوكي، إذن لتماثل الأمر مع البكتريا داكنة الزرقة (Cyanobacteria). من الواضح أن الحياة أثرت في المناخ؟ ولكن إلى أي حد كان أثرها؟

يمكن للقارات المتحركة أن تنتج تجلداً إذا تنقلت فوق قطب[810] غير أن الدلائل تقول إن القارات في فترة النيوبروتيروزوكي كانت استوائية ولم تكن قطبية، فيمكننا لذلك أن ننفي هذه الفكرة في شرح التجلد النيوبروتيروزوكي. يحدث التجلد خلال فترات من بناء الجبال المتزايد. ويزيد بناء الجبال من التجوية ومعدلات التآكل ويزال CO_2 خلال هذه العمليات[811]. وهذه آلية مثيرة للجدل اقترحت للتجلد البلايستوسيني[812]، وتخفق في الفترتين البلايستوسينية والنيوبروتيروزوكيية بسبب توقيت سلسلة الأحداث الأساسية. ويترك بناء الجبال المتزايد علامته، مثل الصخور التي سخنت تحت ضغوط عليا، ومعدلات متزايدة من التآكل والانخساف والنشاط البركاني ودون البركاني المتزايد. ولا توجد دلائل كهذه في العهد النيوبروتيروزوكي.

ولو كانت الأرض في أوقاتها المبكرة مثل زحل (Saturn)، لربما كان لديها حلقات جليدية (Ice Rings) تعكس نور الشمس. ولكن المشكلة هي كيف حصلت الأرض على حلقات جليد، وفقدتها، وحصلت عليها ثانيةً ثم فقدتها نهائياً؟ هذا هو السيناريو الوحيد الذي يمكنه أن يشرح دورات التجلد؟

---

(810) مثل تجلد برمو-كاربونيفيروس قبل 300 إلى 260 مليون سنة.

(811) A. J. West, A. Galy and M. Bickle, «Tectonic and Climate Controls on Silicate Weathering,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 235 (2005), pp. 211-228.

(812) M. E. Raymo and W. F. Ruddiman, «Tectonic Forcing of Late Cenozoic Climate,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 117-122.

ويمكن لمدار الأرض أن يؤثر في المناخ. وإن ميله الآن 23.45 درجة، وهذا ما يعطينا مواسم. وإذا كان ميل الأرض 70 درجة، وكانت هناك شمس ضعيفة، فإن الحسابات تبين أنه يمكن أن يكون هناك جليد استوائي وأقطاب أدفأ[813]. وتتذبذب الأرض في محورها مثل قمة مغزل مع ذبذبات ضمن 100000 و41000 و21000 عام (دورات ميلانكوفتش (Milankovitch Cycle)). ويمكن لهذه أن تعطي مناخات دورية خلال حدث كبير من التجلد (مثل الحدث الحالي)، ولكنها لا تستطيع شرح بداية دورة كبيرة من التجلد[814].

هناك أربع نظريات خاصة ومشتركة عن أصل التجلد النيوبروتيروزوكي. وتشمل نظرية شق ـ الزمام المنزلق (Zipper-Rift Earth Theory) تجلداً يحصل في الوقت نفسه الذي يحصل فيه نشاط بركاني في حافة شق قارة. وتقول نظرية الميلان العالي للأرض (High-Tilt Earth Theory) بوجود الأرض على محور 70 درجة، ووجود تجلد تمييزي ضمن ارتفاع منخفض. وإن لنظرية الأرض ككرة ثلج (Snow Ball Earth Theory) تجلداً شديداً يتعلق بالجليد الذي يعكس الطاقة الشمسية. ولنظرية الأرض ككرة نصف ثلجية (Slush Ball Earth Theory) تجلد شديد متزامن مع محيطات غير مجمدة وتجلدات ضمن مستوى سطح البحر في المناطق الاستوائية[815].

إن للتجلد النيوبروتيروزوكي أثراً كبيراً في كوكب الأرض. فهناك حدث تجلد رئيسيان، في الأقل، هما (سترتيان ومارينوان (Sturtian and Marinoan)) منفصلان بأحداث ما بين جليدية عمرها أكثر من مئة مليون عام. وربما كان هناك أربعة أحداث تجلدية[816]. ويبيّن تحليل أكثر تفصيلاً أن المناخ كان يتغير بسرعة، وارتفع مستوى سطح البحر وانخفض بسرعة، وخلال أقصى درجات العصر ما بين الجليدي، تشكلت صخور كربونية مترسبة بواسطة البكتريا، في

(813) G. E. Williams, «Geological Constraints on the Precambrian History of Earth's Rotation and the Moon's Orbit,» *Reviews of Geophysics*, vol. 38 (2000), pp. 37-59.

(814) A. Berger, «Milankovitch Theory and Climate,» *Reviews of Geophysics*, vol. 26 (1988), pp. 624-657.

(815) I. J. Fairchild and M. J. Kennedy, «Neoproterozoic Glaciations in the Earth System,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 895-921.

(816) M. J. Kennedy [et al.], «Two or Four Neoproterozoic Glaciations?,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 1059-1063.

الماء بدرجة حرارة تزيد على 40 درجة مئوية، وذلك اقتناص مقادير كبيرة من الـCO_2 من الغلاف الجوي. وتمسكت البكتريا خلال التجلد، بالحياة وارتفع الـ CO_2 الجوي.

إذا لم نتمكن من فهم تغيرات المناخ الأكبر في كل الأزمنة، فعلينا أن نكون حذرين من ادعاء أننا نفهم المناخ الحديث.

الحياة متعددة الخلايا الأولى

كانت قيعان البحار قبل الحياة متعددة الخلايا مغطاة بحصيرة طحلبية مثل مادة من قوام جلد الفيل. وقد قُلبت الترسبات رأساً على عقب بعد نشأة الحيوانات متعددة الخلايا وبكائنات تحفر وتزحف، فدمرت هذه الطبقات الرقيقة وسمحت لمزيد منها أن يتحول بالتيارات والأمواج والمد والجزر. وكانت الطبقات المترسبة قبل الحياة متعددة الخلايا الأولى مكونة من طبقات رقيقة جداً، ويمكن اقتفاء أثر طبقة سماكتها مليمتراً واحداً فقط لعشرات الكيلومترات. ثم ظهرت مباشرة بعد تدمير ترسبات القاع أنواع غريبة المنظر من الكائنات الحية الناعمة. وعلى الرغم من أن الحياة متعددة الخلايا الصغيرة وناعمة الجسم ربما ظهرت قبل 1500 ـ 1000 مليون عام، فقد رأينا في عصر الإيدياكاران (Ediacaran) (583 ـ 542 مليون عام) حياة متعددة الخلايا أكبر مع أجزاء صلبة. ولم تكن هذه الأجزاء الصلبة أصدافاً، ولا أسناناً أو هياكل، وإنما مادة أظافر الأصابع نفسها. ولم تكن هناك أشجار في الأزمنة الإيدياكارية، ولا شجيرات، ولا أعشاب أو سيقان. وأدى هذا النقص في جذور الحياة النباتية إلى معدلات تآكل عالية مع ترسبات منقبضة في البحار وطرق المياه الضحلة. وأضاف ذلك مواد غذائية للحيوانات البدائية متعددة الخلايا. وعلى الرغم من أن الستروماتوليت (Stromatolites) قد ظهر قبل 3500 مليون عام ولا يزال معنا، فقد كانت سيطرته تتدهور في الفترة الإيدياكارية، مما يدل على أنه ربما كان وجبات مفضلة لحيوانات رعوية متعددة الخلايا أخرى.

هناك ارتباك بيولوجي شديد يتعلق بالإيدياكارية. فالحيوانات الإيدياكارية موجودة الآن في جميع القارات، ما يدل على أن توزيعها كان عالمياً. وقد تم تعريف أكثر من 80 نوعاً منها. وإن شكلها يشبه قنديل البحر، والديدان المطفرة وفَرشاتْ الهواء (Air mats) المُضرَّبة، ويبلغ طول بعضها متراً، ويشبه شكل

بعضها الإسفنج، أو الرخويات[817]، وبعضها الآخر شبه الأقراص، وغيرها يظهر تشريحاً داخلياً متميزاً، وإن طرقها في التنقل والرعي كانت أيضاً نادرة[818]. وتظهر انتشارات كريات برازها أن لها أحشاء ذات اتجاه واحد. في المواقع المحلية[819] توجد هذه الكائنات في صخور ملحية ورملية. ويبدو أنها ترعى على حصيرة طحلبية في قاع البحار وكانت تلتحف في الأوقات العاصفة في حصر طحلبية عملت مثل قناع ميت حمى تلك الإيدياكاريات من مهاجمة البكتريا لها وتحليلها. وكان قناع الموت يغطى بسرعة بطبقات سميكة من الترسبات، فأصبحت المواد البيولوجية مع الوقت أحفورية. وقد يكون «الإيديكاريات» هي أجداد الحيوانات الحديثة، أو قد تكون تجربة فاشلة من الحياة متعددة الخلايا تصبح الآن منقرضة. كانت الحيوانات الإيديكارية موجودة مع حيوانات أخرى في العصر الكمبري (Cambrian) الأول، فهي بالتالي قد لا تكون سلفاً للحياة الحديثة، وقد تكون تجربة فاشلة لحياة متعددة الخلايا باتت منقرضة. وربما كانت لها بحار خاصة بها، حيث لا توجد دلائل على أية ضراوة ارتبطت بها قبل 542 مليون عام.

لقد رَعَت الايدياكاريات في قاع البحار لفترة طويلة على حصر الطحالب. ولم يكن هنالك من منافس لها، وبمجرد أن ظهرت المنافسة انقرضت، وهكذا غلبت الأيدياكاريات على أمرها باجتياح الكمبريات. وكان اختفاء الكائنات الإيدياكارية قبل 542 مليون عام يمثل الانقراض الجماعي الأول للحياة متعددة الخلايا. وملأت بالنتيجة الكائنات الكنبرية الأولى المواضع التي تركتها الإيدياكاريات، وابتكرت طرقاً جديدة للأكل لأن الحصر الطحلبية قد اختفت . . .

انفجار الحياة

حدث انفجار الحياة خلال فترة قصيرة جداً من الزمن عندما ظهرت جميع الشعب (Phyla) الحيوانية[820]. ولم يكن هناك سابق لمعدل النشأة هذا. وأدى

---

(817) كمبريلا (Kimberella).

(818) Patricia Vickers-Rich and Patricia Komarower, eds., *The Rise and Fall of the Ediacaran Biota,* Geological Society of London Special Publication; 286 (London: Geological Society, 2007).

(819) تلال إيديكاران، بالقرب من بحيرة تورنز، جنوب أستراليا.

(820) كائنات مع خطط جسم فريد.

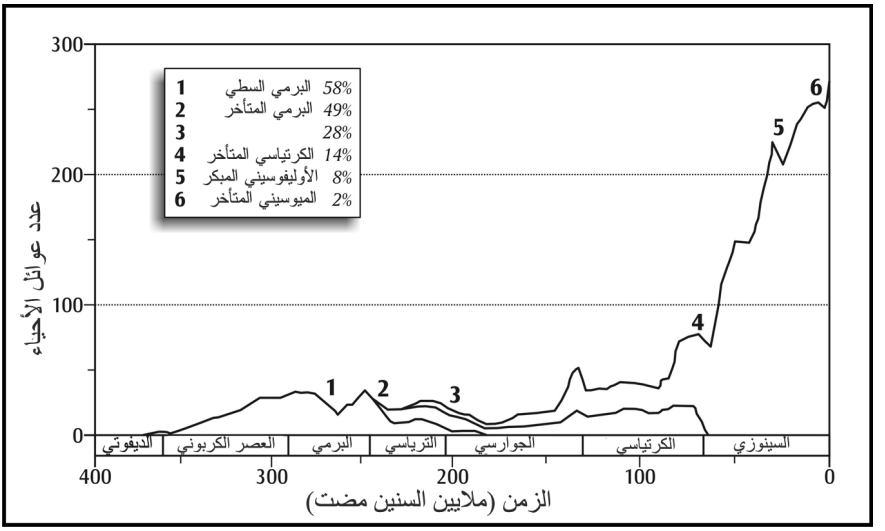
ذلك إلى تساؤلات. هل الانفجار الكمبري للحياة متعددة الخلايا هو سبب لهذا الانفجار أم نتيجة له؟ وكيف ستكون الأرض مع دفعة صغيرة للنمو الحيوي بدلاً من الانفجار الحيوي الكبير؟ وهل كان تجنب الحياة متعددة الخلايا ممكناً أم هو قدر لا مفر منه؟ وإذا شَغلَّنا شريط «تاريخ الحياة» مرة أخرى، فهل ستتوالى الأحداث نفسها بالترتيب نفسه؟

إن خواص مثل درجة الحرارة، والتغير من محيط حمضي إلى محيط قلوي، وظهور قارات مرت بظروف تجوية، وأنتجت مياهاً ضحلة وازدهاراً بيولوجياً بعد أكثر من 100 مليون عام من عصر جليدي قاسٍ، كلها مظاهر أساسية للانفجار الكمبري للحياة (540 ـ 520 مليون عام). وقد وضع هذا الانفجار البنية الأساسية لأنواع وأشكال أجسام الحيوانات متعددة الخلايا.

إن تكوين حيوان أصعب من تكوين بكتريا، فذلك يعني زمن وكانت هناك خلال تاريخ الزمن بعض القفزات الحيوية الكبيرة نحو الأمام (مثل حياة الـ (RNA-DNA) السائدة، وظهور خلايا يوكاريوتية (حقيقية النواة) وحيوات (متعددة الخلايا) وتبقى هناك بعض الأسئلة الأساسية. لماذا لم يحدث الانفجار الكمبري في زمن أبكر؟ لقد كان الظهور الحقيقي لمئة شعبة حيوانية ونباتية هو الذي استغل البيئة لتكوين أجزاء صلدة من أجسامها بشكل أصداف من كربونات الكالسيوم. وأنتج ذلك استهلاكاً كبيراً للـ CO_2 الجوي. لقد استمر الانفجار الكمبري 20 ـ 30 مليون عام. ومنذ ذلك الوقت لم تظهر حيوانات جديدة على الأرض. وحتى بعد أحداث الانقراض الجماعي، لم تظهر حيوانات جديدة. ومنذ الانفجار الكمبري للحياة كان هناك تنوع هائل للأحياء، كما يبدو من عدد أنواع (Species) الكائنات، وأجناسها (Genera)، وعوائلها (Families).

ما الذي حرّك الانفجار الكمبري؟ إليك بعض الأفكار. قد يكون هناك محفز بيئي مع فوسفور، وكالسيوم، وحديد، وثاني أكسيد كربون منصهرة في مياه المحيط بعد تجوية وتآكل ما بعد جليدي مكثف. ولعل هذا الحديد قد حفز ازدهار الطحالب، وهي كائنات قادرة على التمثيل الضوئي، ما جعل محتوى الأكسجين الجوي يزداد. وإن الأكسجين والفوسفور أساسيان للعضلات، وإن ثاني أكسيد الكربون والكالسيوم العاليين أساسيان للأصداف. ولقد غيّر تفكك القارة الكبيرة رودينيا (Rodinia) التيارات البحرية في المحيطات، وغيّر شكل قيعانها وجلب الفوسفور إلى سطح المحيط. وكانت المحيطات هي العامل الذي

ساعد هذه العملية، فقد كانت دافئة فترة طويلة بعد التغير السريع لتجمد المحيطات وتسخينها خلال التجلد النيوبروتيروزوكي. ولربما لعبت حركة الصفائح التكتونية دوراً آخر حيث كان هناك اندفاع قاري سريع في العصر الكمبري. ولقد كان لوضع القارات أثر في تيارات المحيطات، ساعد على رفع مياه المحيط العميقة والمليئة بالمواد المغذية.



الشكل 17: تزايد التنوع في الحياة وانقراضات جماعية خلال الزمن كما يبدو من عائلات رباعية الأقدام (Tetra podes)[821] والانقراضات الجماعية مرقمة من 1 إلى 6 مع نسب الكائنات رباعية الأقدام التي اعتبرت منقرضة. وتمثل الخطوط الثلاثة الحيوانات رباعية الأقدام السائدة.

توفر الأصداف حمايةً من الضراوة، والتجفيف، والطاقة فوق البنفسجية. وتسمح العضلات بالالتصاق بقعر البحار، والتنقل والمحافظة على شكل الجسم. وكان الأكسجين عاملاً حرجاً، فقد حدّت الهياكل الكبيرة من دخول مياه البحر إلى أجزاء الجسم الناعمة، صار التنفس يتم بالامتصاص المباشر للأكسجين المذاب في مياه البحر حول جدار جسم. وتمنع الأصداف عادة قسماً كبيراً من جسم الكائن الحي من الحصول على الأكسجين، وبالتالي فإن محتوى الأكسجين المذاب بكثرة في مياه البحر كان ضرورياً. لم تكن الهياكل الصلبة

(821) M. J. Benton, «Mass Extinction among Non-Marine Tetrapods,» *Nature*, vol. 316 (1985), pp. 811-814.

إضافةً إلى صغر الجسم ضرورة تذكر، فهي تعدل الخطط ولا تضيف إليها. ومع قابلية إنتاج أجزاء صلبة، صار بوسع مجموعات من الحيوانات الجديدة أن تستعمل هذه الأجزاء الصلبة كفكوك وأرجل أو دروع ومساند للجسم، وتكون بالتالي مكنتهم من استعمال طرق جديدة من الحياة، والتنقل، واستغلال بيئات جديدة. ووصولاً إلى الانفجار الكمبري، كانت معظم الحيوانات متعددة الخلايا أقل من واحد ملليمتر طولاً، وناعمة الجسم. وكانت الحجوم الكبيرة مطلوبة لتقوية أنظمة الدورة الدموية والتنفسية والإبرازية، وكان على كل منها أن ينشأ ويتطور قبل الوصول إلى الجسم الأكبر حجماً. وربما حدثت هذه النشأة في الحيوانات الإيدياكارية الكبيرة، النادرة القليلة.

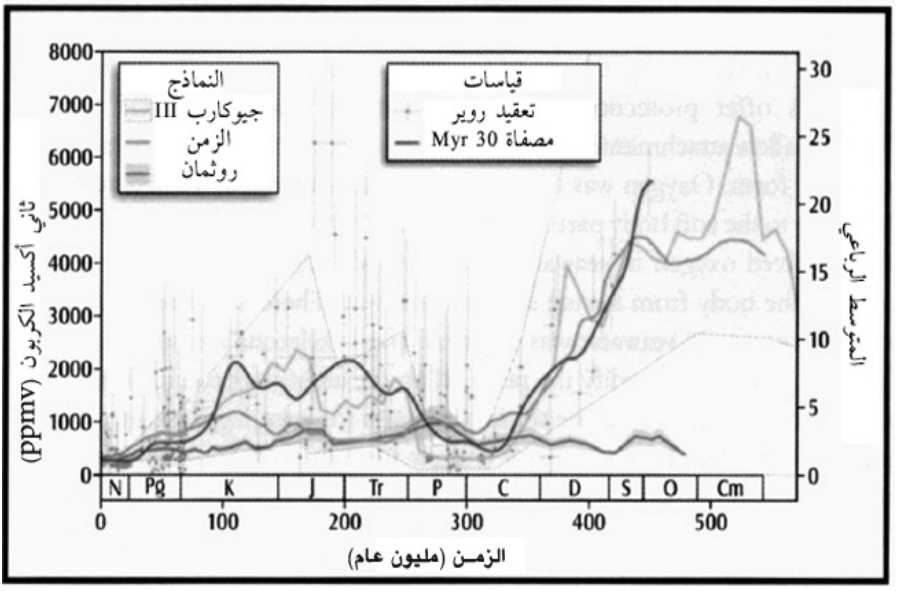
ظهرت عملية الافتراس في الانفجار الكمبري وفرضت طرقاً جديدة للعيش. وقد عززت الحيوانات القدرة على العيش وطورت هذه القدرة على حماية أنفسها بإنتاج أصداف، وحفر الثقوب والمزاغل أو الهرب بسرعة من الخطر. ووجدت هذه الكائنات نفسها قادرة على استغلال موارد غذائية مستهلكة مثل دقائق الطعام الداخلة في الأصداف أو الوجبات الطحلبية من الحفر.

وتزايد بالنتيجة عدد الكائنات وتنوعها بسرعة. وتمّت مماثلة ذلك مع ازدياد حاد في تمخيض الترسبات بالحفر. وأعيدت دورة المادة العضوية المطمورة التي توضع في الترسبات من خلال الحياة الجديدة، وتناقصت بالنتيجة نسبة الترسبات العضوية، وتزايد ترسيب الصخور الكلسية. وهذا ما عدل من دورة الكربون، مثل ما فعل الاستغلال الكبير لثاني أكسيد الكربون في عملية تكوين الأصداف. واستمر هذا الاستغلال 542 مليون عام، ولا يزال يحدث.

كانت هناك فترة من التنوع البيولوجي العظيم من حوالى 470 مليون عام بعد الانفجار «الكمبري» للحياة. وازداد التنوع البيولوجي بطبيعة الحال بسرعة بعد حدوث انقراض جماعي، فما الذي حفز التزايد الشديد في التنوع البيولوجي؟ إن الانفجار في عدد أنواع الكائنات الحية حدث في الوقت نفسه تقريباً الذي حدث فيه تردد متزايد من ارتطام الأحجار النيزكية. وزاد هذا القذف المستمر للحجارة المعدل العالمي لانهيال الصخور[822]. وربما أحدث هذا

(822) J. Parnell, «Global Mass Wasting at Continental Margins During Ordovician High Meteorite Flux,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 57-61.

المعدل المتزايد للتصادم انقراضاً جماعياً إقليمياً كثيفاً للحياة، وسرّع التنوع البيولوجي[823].



الشكل 18: رسم استغلال CO_2 المسحوب من الغلاف الجوي منذ الانفجار الكمبري للحياة. وسواء استعملت نماذج أو قياسات، كان المحتوى الجوي لـ CO_2 أكثر بـ 25 مرة من الآن وقد اقتلع من الغلاف الجوي إلى الصخور الكربونية (حجر الكلس، الدولوميت، أسمنت الكربونيت، أحفوري الكربونات) حتى أن محتوى الـ CO_2 الحديث هو الأدنى في التاريخ الجيولوجي. ومعظم ثاني أكسيد الكربون في الكوكب موجود في الصخور وأدنى مقدار من ثاني أكسيد الكربون الكوكبي موجود في الغلاف الجوي.

كانت النظرية القائلة إن التأثيرات الشديدة أحدثت انقراضات جماعية للحياة شاعت لبعض الوقت[824][825]. وقد عُدّلت هذه النظرية الآن إذ تبيّن

(823) B. Schmitz [et al.], «Asteroid Breakup Linked to the Great Ordovician Biodiversification Event,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 49-53.

(824) W. L. Alvarez, «Towards a Theory of Impact Crises,» *EOS*, vol. 67 (1986), pp. 649-658.

(825) P. Hut [et al.], «Comet Showers as a Cause of Mass Extinction,» *Nature*, vol. 329 (1987), pp. 118-126.

بعمل علمي لاحق أن انقراضات جماعية قليلة للحياة متعددة الخلايا تنتج من تصادمات خارج أرضية. وإن العلوم ليست مطلقة في أي موضوع .

الانقراض

انقراضات جماعية ثانوية ورئيسية للحياة

شهد كوكب الأرض خمسة انقراضات جماعية رئيسية للحياة المعقدة وعدداً من الانقراضات الجماعية الثانوية[826]. وهنالك رأي سديد يقول إن 99.99 في المئة من جميع الكائنات التي وجدت على كوكب الأرض أصبحت منقرضة الآن. وهناك نظرة أخرى تقول إن الانقراض ملازم لنا في جميع الأوقات كجزء من دورة تطور الكائنات، وفي بعض الأوقات، هناك انقراض متسارع مفاجئ يبدو لنا وكأنه انقراض جماعي. وتستمر الحياة دائماً في أزمنة الانقراضات، ولم يحدث انحفاظ (Conservation) على نوع من الكائنات في تاريخ الكوكب. وليس هناك من سبب لحدوثه لمجرد أن البشر يعيشون على الكوكب. إن هذا التغير طبيعي فإن عملية تكون الكائنات تتطلب انقراضاً، حيث تُفرّغ الأنظمة البيئية لكائنات جديدة، ويلغي الانقراض الجماعي الرئيسي عادة على 50 في المئة على الأقل من الكائنات.

كان هناك انقراض جماعي رئيسي قبل 450 ـ 440 مليون عام ضمن حدثين، ودمر الانقراض الجماعي الرئيسي قبل 375 ـ 360 مليون عام 70 في المئة من الكائنات في سلسلة من الانقراضات التي ربما استمرت عشرين مليون عام[827]. وقتل الانقراض الأكبر، قبل 2514 مليون عام، 53 في المئة من العوائل البحرية، و84 في المئة من الأنواع البحرية و96 في المئة من جميع الكائنات البحرية[828]. وربما كان هناك حدثا انقراض[829]؛ فقد تبع انقراض

(826) A. Hallam and P.B. Wignall, *Mass Extinctions and their Aftermath* (New York: Oxford University Press, 1997).

(827) G. R. McGhee, «Extinction: Late Devonian Mass Extinction,» in: *Encyclopedia of Life Sciences* ([New York]: John Wiley, 2006).

(828) A. M. T. Elewa, *Mass Extinction* (Minneapolis, MN: Twenty-First Century Books, 2008).

(829) S. M. Stanley and X. Yang, «A Double Mass Extinction at the End of the Paleozoic Era,» *Science*, vol. 266 (1994), pp. 1340-1344.

حصل قبل 205 مليون عام[830] انقراض آخر معروف جيداً، حصل قبل 65 مليون عام. وكانت هناك انقراضات جماعية ثانوية عديدة. فقد تبع فقدان الحيوانات الإيدياكارية قبل 542 مليون عام أكثر من 12 انقراضاً جماعياً ثانوياً[831][832][833][834][835]. وهناك نظرية تقول إننا نعيش في الانقراض الجماعي السادس الرئيسي[836]. وأسباب الانقراضات الجماعية الخمسة الرئيسية السابقة والاثني عشر انقراضاً جماعياً ثانوياً ليست معروفة[837].

ظهرت 100 مجموعة جديدة من الحيوانات في الانفجار الكمبري للحياة. وعلى الرغم من انقراضات جماعية كثيرة حدثت منذ فقدان الحيوانات الإيديكارية قبل 542 مليون عام، لم تظهر حيوانات جديدة. وقد اختفت جميع هذه الحيوانات. وبعد الانفجار الكمبري للحياة، كانت البحار تحمل حياة بكتيرية، وأخرى متعددة الخلايا. ثم حصل حدث استثنائي متعذر الإلغاء (Irreversible) هو أن الكتل القارية صارت مزدحمة بكائنات أرضية، حصل هذا قبل 470 مليون عام، واستدل على هذه الكائنات من خلال آثار أقدام لها وجدت في مسطحات مد وجزر.

ويبدو أن الحيوانات الزاحفة كانت تسعى مشياً إلى اكتشاف مصدر غذاء جديد. ويذكر أن القارات حينئذٍ كانت مزدهرة بـ 10٪ فقط مما تحمله الآن من

---

(830) A. Hallam, «The End-Triassic Mass Extinction Event,» *Geological Society of America Special Paper*, vol. 247 (1990), pp. 577-583.

(831) T. J. Bralower [et al.], «Timing and Paleoceanography of Oceanic Dysoxia/Anoxia in the Late Barremian to Early Aptian (Early Cretaceous),» *Palaios*, vol. 9 (1994), pp. 335-369.

(832) M. Aberhan and F. T. Fürsich, «Diversity Analysis of Lower Jurassic Bivalves of the Andean Basin and the Pliensbachian-Toarcian Mass Extinction,» *Lethaia,* vol. 9 (1996), pp. 181-195.

(833) S. Abramovich, A. Almogi-Labin and C. Benjamini, «Decline of the Maastrichtian Pelagic Ecosystem Based on Planktonic Foraminifera Assemblage Change: Implication for the Terminal Cretaceous Faunal Crisis,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 63-66.

(834) P. Copper, «Evaluating the Frasnian-Famennian Mass Extinction: Comparing Brachiopod Faunas,» *Acta Palaeontologica Polonia*, vol. 43 (1998), pp. 137-154.

(835) A. Hallam, «Discussion on Oceanic Plateau Formation: A Cause of Mass Extinction and Black Shale Deposition around the Cenomanian-Turonian Boundary,» *Journal of the Geological Society, London* (1999), pp. 156-208.

(836) R. Leakey and R. Lewin, *The Sixth Extinction: Patterns of Life and the Future of Humankind* (London: Anchor, 1996).

(837) 1999 G. Vines, «Mass Extinctions,» *New Scientist* (11 September 1999), Supplement 126, pp.1-4.

نباتات، وهذا ظاهر في السجل الجيولوجي من خلال تناقص معدلات التجوية والتآكل.

إن سجل الأحفوري غير مكتمل، وإن الفرص المتاحة لكائن حي أن يصبح كائناً أحفوراً هي فرص ضئيلة. فعلى سبيل المثال، إذا متّ في الصحراء، فما هي فرصتك لأن تصبح أحفوراً؟ سيصيبك تفكك بكتيري، وستأكل الحيوانات اللاحمة لحمك، وستتآكل عظامك وتتفكك وتنتشر ويقصر لونها وتتحول تدريجياً إلى هباء. وأحسن فرصة لكي تصبح أحفوراً هي أن تموت في مستنقع خالٍ من الأكسجين. إن لبعض أشجار الغابات المطيرة الجبلية في أميركا الوسطى مئات الحشرات المستوطنة. وإذا ماتت شجرة واحدة، فما هي فرص الحشرات لكي تصبح أحافير متجنبة التفكك البكتيري في نثار الأوراق والأغصان الميتة للغابات المطيرة؟ إضافةً إلى ذلك كيف نستطيع قياس الانقراض الجماعي؟ فهل نحسب التغير في عدد شعب (Phyla) هذه الكائنات أم عوائلها (Families) أم مجامعها (Groups)، أم أجناسها (Genera) أم أنواعها (Species)؟ أم ماذا؟ ومع ذلك يستمر علم الأحفوري القديم بإيجاد أنواع كائنات جديدة، ما يجعلنا نجهل حقيقةً ما ينتظرنا من أحفوري على صفحات الصخور.

رغم ذلك، شرع علماء المستحاثات في حساب أعداد أصناف الكائنات وتجميعها. وإذا احتوت مجموعة الصخور على رماد بركاني يمكن معرفة تأريخه بدقة بطريقة النشاط الإشعاعي للكربون (^{14}C) 14. وبذلك يمكننا التحقق من امتداد حياة الأنواع. إن امتداد حياة معظم الكائنات الحية غير معروف. إضافةً إلى ذلك، ولكي نتحقق من الانقراضات الجماعية يتوجب التحقق من البيئة القديمة للكائنات الحية فالأحداث التي تؤثر في كائنات أرضية معينة قد لا تؤثر في الحيوانات البحرية العميقة أو الضحلة. وتؤثر بعض الأحداث في النباتات الأرضية، وليس في الحيوانات الأرضية. ومهما يحدث، فإن البكتريا هي التي تبقى على قيد الحياة بعد الانقراضات الجماعية، وإنه لمن الصعب تحديد إذا كان هناك انقراض لنوع بكتيري من قبل، أم لا. وهناك بعض الاقتراحات تفيد بأنه بعد التصادم الأكرماني (Acraman) في جنوب أستراليا قبل 580 مليون عام، كان هناك انقراض جماعي ثانوي للبكتريا.

إن العلاقة بين الأحداث الكارثية المفاجئة والانقراضات الجماعية على

الأرض جذبت عدداً كبيراً من الأبحاث العلمية، والافتراضات، وأيضاً آراء ذوي المعرفة العلمية المتواضعة، فتطلب الأمر إجراء قياسات أفضل للعمر لإعادة تنقية الفرضيات، لأن تواريخ الفوهات السطحية الناجمة عن التصادمات بالسرعة العالية أصبحت أكثر دقة الآن. وتبيّن التواريخ الجديدة عدم وجود علاقة «العين بالعين» بالنسبة إلى فوهات البراكين التي سبّبتها التصادمات السريعة، ولا للانقراضات الجماعية العالمية ولا لوجود مناطق براكين نارية كبيرة[838].

قد تحدث الانقراضات الجماعية لعدة أسباب. وإن أفضل طريقة لقتل الحياة هي الغاز. وأفضل مثال للانقراض بالغاز هو ما يسمى «صدأ المحيطات» قبل 2400 ـ 2200 مليون عام. وقد حدث هذا لأنه خلال انفجار الحياة البكتيرية، استهلكت هذه الكائنات الـ CO_2، وأطلقت الأكسجين اللذين قتلا معظم الكائنات البروكاريوتية. وإن أهم الغازات الصادرة عن البراكين هي بخار الماء وثاني أكسيد الكربون. ولا يمكن لأي منها أن يسبب انقراضاً جماعياً. غير أن بعض البراكين تستمد من جزء غني بالكبريتيك في قشرة الأرض، أو تدمج كبريتات مياه البحر لتطلق كميات هائلة من كبريتات الهيدروجين (غاز البيض الفاسد). ويكون كبريت الهيدروجين ساماً قاتلاً فوق 10 ppmv. يتأكسد كبريت الهيدروجين في الغلاف الجوي ليصبح حمض الكبريتيكيك، ويصبح المطر شديد الحموضة، وتتغير المياه الجارية من قلوية إلى حمضية، مثل ما يحصل في المحيطات. وفي بيئة أرضية، تقتل نباتات اليابسة بحمض الأمطار وتنهار السلسلة الغذائية. ويتصرف ثاني أكسيد الكبريتيك، وهو غاز بركاني آخر شائع، على نحو مشابه جداً.

تزيل غازات كبريتيد الهيدروجين في المحيطات الأكسجين من المياه، وهناك فترة قصيرة من الحموضة، وتتفكك أصداف الحيوانات، ولا يمكن للحياة أن تتلاءم مع التغير الفجائي من ظروف قلوية إلى ظروف حمضية أو من ظروف غنية بالأكسجين إلى ظروف فقيرة به. وهناك في أحواض المحيطات العميقة اليوم ما يقتل السمك بشكل مفجع، قد يكون الغاز. وإن مفتاحاً جيداً لكل هذه الألغاز

(838) S. Kelley, «The Geochronology of Large Igneous Provinces, Terrestrial Impact Craters, and their Relationship to Mass Extinctions on Earth,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 923-936.

هو وجود الوحل المليء بالكربون الأسود والكبريتيك، وهناك اقتراحات بأن ثلاثة من الانقراضات الجماعية المتعلقة بأحداث، على الأقل، قد كوّنت طيناً أسود[839][840]. تعكس غيوم فيها حمض الكبريتيكيك في الغلاف الجوي النور والسخونة، وبالتالي فإن هذه الأنواع من الانقراضات قد تكون متعلقة بالابتراد.

قد يكون تصاعد الغاز محلياً أو عالمياً، ولذلك يصبح التمييز بين انقراض محلي، وانقراض جماعي ثانوياً وانقراض جماعي رئيسياً ضبابياً. ولعل النوع الأكثر شيوعاً في تسبيب هذه العملية هو بركان بازلت، كما في سلسلة تلال المحيط، في هاواي وآيسلاندا. ولقد حدثت خمسة انقراضات جماعية في الوقت الذي حدثت فيه انفجارات بازلتية جماعية في مناطق الأحد عشر، أكبر بركاناً بازليتا. تزامنت ستة من البراكين العظمى البازلتية مع أحداث احترار كوني وفقدان الأكسجين من مياه بحرية[841]. ويدل هذا على أن غازات البراكين كان لها أثر في الحياة والمناخ. ولدينا مثال واحد على الغاز المحلي قد يتذكره قراء كثيرون، هو غاز CO_2. فقد أطلقت بحيرة نيس (Nyes) في الكاميرون في 21 آب/أغسطس 1986 غيمةً من الـ CO_2 مستمدة من صخور ذائبة في العمق. وإن بحيرة نيوس بحيرة بركانية تشكلت فوق ما ظن أنه بركان غازي منقرض. وكان في البداية إطلاقاً ضئيلاً للغاز فحسب. ولما كان الـ CO_2 أثقل من الهواء، فقد حل محل الهواء في أحد الوديان فاختنق نحو 1700 شخص مع دوابهم[842].

هناك انقراض جماعي معروف جيداً. وهو انقراض K-T، الذي قيل لنا إنه أدى إلى انقراض الديناصورات قبل 65 مليون عام. والنموذج الشائع في تعليل ذلك أن كويكباً ضرب تشيكسولوب (Chicxulub). (المكسيك) قبل 65 مليون عام، فبخّر الصخر وأحدث غيوماً خانقة من غازات الكبريتيك والغبار، أديا إلى

(839) P. B. Wignall and R. J. Twitchett, «Oceanic Anoxia and the End Permian Mass Extinction,» *Science*, vol. 272 (1996), pp. 1155-1158.

(840) L. R. Kump, A. Pavlov and M. A. Arthur, «Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere Using Intervals of Oceanic Anoxia,» *Geology,* vol. 33 (2005), pp. 397-400.

(841) P. B. Wignall, «Large Igneous Provinces and Mass Extinctions,» *Earth Science Reviews*, vol. 53 (2001), pp. 1-33.

(842) G. W. Kling [et al.], «The 1986 Lake Nyos Disaster in Cameroon, West Africa,» *Science*, vol. 236 (1987), pp. 169-175.

تدمير حياة النبات. وما إن تم تدمير النباتات حتى حدث انهيار في النظام البيئي، وموت الحيوانات وانقراض جماعي كبير[843]. بل وأكثر من ذلك، فإن التأريخ الدقيق للصخور بيّن أن حادث الغبار والغاز لم يكن في المكسيك، بل في الهند. وحدث الانقراض الجماعي K-T قبل 65.5 مليون عام خلال فترة انفجار الـ 800000 عام للبازلت الذي شكّل أفخاخ ديكن (الهند)[844][845]. وحدث أثر التشيكسولوب قبل 300000 عام من الانقراض الجماعي، فيما عاشت الديناصورات قبل هذا التصادم وخلاله وبعده[846]. ومن الممكن أن يكون انقراض K-T، وانقراضات أخرى مثله، نتيجة مجموعة من الأحداث الكارثية. وقد أصدرت انفجارات ديكن حجماً هائلاً من ثاني أكسيد الكبريتيك (SO_2) إلى الغلاف الجوي، وكان قد اجتمع مع الماء لإنتاج أمطار حمضية منتشرة قتلت النبات وجعلت المحيطات حمضية لفترة من الوقت.

تتزامن بعض الانقراضات الجماعية مع أحداث بازلت فيضانية قارية[847] مثل أفخاخ سيبيريا (Siberian Traps)، ومرتفعات البرازيل (Brazilian Highlands) ومناطق البازلت كارو ـ فرار (Karoo-Ferrar) (جنوب أفريقيا ـ القطب الجنوبي)[848]. وحدث أكبر انقراض جماعي في جميع الأزمنة عندما كانت البراكين العظمى البازلتية في قمتها[849]. وتم مسح نحو 96 في المئة من الحياة

---

(843) J. Morgan [et al.], «Analysis of Shocked Quartz at the Global K-T Boundary Indicate an Origin from a Single, High-Angle, Oblique Impact at Chicxulub,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 251 (2006), pp. 264-279.

(844) R. A. Duncan and D. G. Pyle, «Rapid Eruption of the Deccan Flood Basalts at the Cretaceous/Tertiary Boundary,» *Nature*, vol. 333 (1988), pp. 841-843.

(845) G. Keller [et al.], «Main Deccan Volcanism Phase Ends Near the K-T Boundary, pp.Evidence from the Krishma-Godavari Basin, SE India,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 268 (2008), pp. 293-311.

(846) G. Keller [et al.], «Icxulub Impact Predates the K-T Boundary Mass Extinction,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 101 (2004), pp. 3753-3758.

(847) A. Hallam and P. B. Wignall, *Mass Extinctions and their Aftermath* (New York: Oxford University Press, 1997).

(848) J. S. Marsh [et al.], «Stratigraphy and Age of Karoo Basalts of Lesotho and Implications for Correlations within the Karoo Igneous Province,» in: J. J. Mahoney and M. F. Coffin, eds., *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic and Planetary Flood Volcanism*, Geophysical Monograph; 100, American Geophysical Union (1997), pp. 247-272.

(849) A. H. Knoll, «Comparative Earth History and Late Permian Mass Extinction,» *Science*, vol. 273 (1996), pp. 452-456.

المعقدة على الأرض قبل 251.4 مليون عام عندما هاجت أفخاخ سيبيريا البازلتية في حوض تلناخ (Talnakh Basin)[850]، وكان هناك انقراض جماعي للحياة في الحد الترياسي ـ الجوراسي (قبل 205 مليون عام). وتحقق في المليوني عام التالية مستويات CO_2 جوية متزايدة، وطمر متزايد للكربون العضوي، وتحول طويل الأمد في كيمياء كربون الصخور الكلسية البحرية، والمواد العضوية. وربما كان هذا التحول بسبب الكميات المتزايدة من CO_2 المنطلقة إلى الغلاف الجوي والمستمدة من القوة البركانية المتصلة بقعر المحيط الأطلسي التي تمتد لتكوين منطقة وسط الأطلسي الصهارية[851]. ويبيّن هذا المثال أيضاً أن حدثاً بركانياً واحداً قد يكون له أثر طويل الأمد على الـ CO_2 الجوي.

لقد تشكّلت مناطق فيضانات البازلت القارية بانفجارات عديدة خلال فترة قصيرة من الزمن الجيولوجي، هي بضع ملايين من السنين. واستمرت خلال هذه الفترة مرحلة انفجارات قصيرة أخذت نحو مليون عام، تسبّبت بصهارة شكّلت نسبةً عالية من حجم الانفجارات، راوحت بين 1000 ـ 10000 كيلومتر مدفوعة من المواد البركانية المقذوفة. واستمر كل انفجار حوالى عقد أو ما يشابهه ليبني مجالات انسياب صهاري بقوة النشاط الانفجاري خلال تشققات يتراوح طولها بين عشرات إلى مئات الكيلومترات. قذفت ينابيع النيران المنبعثة من فتحات على طول هذه التشققات كيلومترات من السوائل البركانية في الهواء. وفي أوقات معيّنة ساندت شلالات النيران أعمدة هائجة قذفت بالغاز والرماد (Ash) عشرات الكيلومترات في الغلاف الجوي، في الوقت نفسه الذي طفت فيه الصهارة فوق مناطق واسعة من الأرض.

وبناءً على دراسات تخص انفجارات حديثة، وعلى تحديد المحتويات المتطايرة من القوة البركانية الفيضانية البازلتية القديمة، استُنتج أن الانفجارات الفردية كانت قادرة على إصدار 10000 مليار طن من ثاني أكسيد الكبريت، نتج منها تحميل الغلاف الجوي بـ 100 مليار طن من هذه المادة على الأقل في العام

---

(850) M. K. Reichow [et al.], «$^{40}Ar/^{39}Ar$ Dates from the West Siberian Basin: Siberian Flood Basalt Province Doubled,» *Science*, vol. 296 (2002), pp. 1846-1849.

(851) B. Van de Schootbrugge [et al.], «Carbon Cycle Perturbation and Stabilization in the Wake of the Triassic-Jurassic Boundary Mass-Extinction Event,» *Geochemistry, Geophysics and Geosystems*, vol. 9 (2008), Q04028, doi: 10.1029/2007GC001914.

وخلال الحدث البركاني الذي استمر لمدة عقد. لقد كانت التغيرات الجوية المتعلقة بانبعاثات ثاني أكسيد الكبريت من أحد هذه الانفجارات طويلة الأمد شديدة في الأغلب.

ونقيضاً لذلك، كانت كميات CO_2 الصادرة أقل من عشرات المليارات من الأطنان في العام. وهذا أكثر بكثير من الـ CO_2 الذي يقذفه النشاط البشري الآن في الغلاف الجوي. هذا ويدخل الغلاف الجوي سنوياً 186 مليار طن من الـ CO_2 المجمع من كافة المصادر، يشكل منها النشاط البشري حوالى 3.3 في المئة فقط. ويأتي أكثر من 100 مليار طن (57 في المئة) من المحيطات، و71 مليار طن يصدر من الحيوانات (بما فيها الإنسان).

لقد توبعت الانفجارات البركانية الفردية في فترات لم يحصل فيها انفجارات لمئات الآلاف من السنين، تم خلالها إعادة تدوير الغاز الداخل إلى الغلاف الجوي. وبالطبع لم يسبب الاحترار الكوني الانقراض الجماعي قبل 65 مليون عام[852]. ولربما كانت الإضافة المستمرة للغازات الكبريتيكية إلى الغلاف الجوي خلال انفجارات البراكين العظمى في الهند، هي السبب.

لقد كانت هناك بضعة أحداث غير عادية للغازات خلال الـ 200 مليون عام الماضية عندما كان التغير شديداً، وسريعاً وغير متوقع، وذا نتائج قصيرة الأمد[853]. إلا أن هناك حدثين رئيسيين يجب ملاحظتهما، هما حدث الباليوسين الأخير ـ الإيوسين المبكر (قبل 55.8 مليون عام) والجوراسي المبكر، (قبل 183 مليون عام) بالإضافة إلى أحداث انقراضات، واحترار كوني سريع وشديد، وتغيرات في الدورة الهيدرولوجية، والفقدان المستمر للأكسجين من المحيطات، وتغيرات رئيسية في كيمياء الكربون. غير أن الصدع المستمر لمحيط شمال الأطلسي المحتوي على شقوق طولها 3000 كيلومتر يبدو وكأنه أنتج فترة ابتراد سبقت الاحترار القصير قبل 55.8 مليون عام.

---

(852) S. Self [et al.], «Volatile Fluxes During Basalt Euptions and Potential Effects on the Global Environment: A Deccan Perspective,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 248 (2007), pp. 518-532.

(853) A. S. Cohen [et al.], «The Late Palaeocene-Early Eocene and Toarcian (Early Jurassic) Carbon Isotope Excursions: A Comparison of their Time Scales, Associated Environmental Changes, Causes and Consequences,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 1093-1108.

تتحلل أصداف الكربون في عمق 3.8 كيلومتر، الآن في مياه البحر القلوية العميقة الباردة مرتفعة الضغط. وفي حدث الـ 55.8 مليون عام[854]، كان العمق الذي تفككت فيه الأصداف 1.8 إلى 2 كيلومتر لأن المحيطات كانت حموضتها أكثر قليلاً. وكانت هناك فترة 100000 عام عندما كانت درجة الحرارة المتوسطة في المناطق الاستوائية تراوح بين 26 إلى ـ 27 درجة مئوية[855]. ورافق ذلك تغيرات أيضاً في النباتات والحيوانات ضمن مناطق بعيدة عن خط الاستواء[856][857]، وفي نصفي الكرة الأرضية[858][859][860][861]. وكان لهذا الاحترار أثر عميق على الحياة البحرية والأرضية، وكان هناك انقراض جماعي ثانوي أيضاً في الحياة الاستوائية في ذلك الزمن. وارتفعت درجات حرارة اليابسة والبحار آنذاك من خمس إلى عشر درجات مئوية[862] مع انقراضات متعلقة بالحياة[863].

خلال الفترة بين 10000 إلى 20000 عام[864]، ثم ارتفعت درجة حرارة

D. W. Jolley and M. Widdowson, «Did Paleogene North Atlantic Rift-Related Eruptions (854) Drive Early Eocene Cooling?,» *Lithos*, vol. 79 (2005), pp. 355-366.

G. J. Harrington and C. A. Jaramillo, «Paratropical Floral Extinction in the Late (855) Palaeocene-Early Eocene,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 323-332.

W. C. Clyde and P. D. Gingerich, «Mammalian Community Response to the Latest (856) Palaeocene Thermal Maximum: An Isotaphonomic Study in the Northern Bighorn Basin, Wyoming,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 1011-1014.

S. L. Wing [et al.], «Transient Floral Change and Rapid Global Warming at the (857) Palaeocene-Eocene Boundary,» *Science*, vol. 310 (2005), pp. 993-996.

K. Moran [et al.], «The Cenozoic Palaeoenvironment of the Arctic Ocean,» *Nature*, vol. 441 (858) (2006), pp. 601-605.

M. Storey, R. A. Duncan and C. C. Swisher, «Palaeocene-Eocene Thermal Maximum and (859) the Opening of the Northeast Atlantic,» *Science*, vol. 316 (2007), pp. 587-589.

P. Z. Poore and R. K. Matthews, «Late Eocene-Oligocene Oxygen and Carbon Isotope (860) Record from the South Atlantic DSDP site 522,» *Initial Reports of the DSDP* (Government Printing Office, Washington), vol. 73 (1984), pp. 725-735.

P. Wilf [et al.], «High Plant Diversity in Eocene South America: Evidence from (861) Patagonia,» *Science*, vol. 300 (2003), pp. 122-125.

P. N. Pearson [et al.], «Warm Tropical Sea Surface Temperatures in the Late Cretaceous (862) and Eocene Epochs,» *Nature*, vol. 413 (2001), doi: 10.1038/335097000.

J. P. Kennett and L. D. Stott, «Abrupt Deep-Sea Warming Palaeoceanographic Changes (863) and Benthic Extinctions at the End of the Palaeocene,» *Nature*, vol. 353 (1991), pp. 225-229.

H. C. Fricke [et al.], «Evidence for Rapid Climate Change in North America during the (864) Latest Palaeocene Thermal Maximum: Oxygen Isotope Compositions of Biogenic Phosphate from the Bighorn Basin (Wyoming),» *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 160 (1999), pp. 193-208.

سطح بحر القطب الشمالي إلى 24 درجة مئوية[865]، وسادت كائنات المياه الدافئة في سجل أحفوري القطب الشمالي منذ ذلك الزمن، وانسابت المياه المنصهرة العذبة في محيط القطب الشمالي[866]. وتناقصت درجة الحرارة إلى ظروف دافئة للـ 100000 عام التالية[867]. وانطلق 1200 إلى 5000 مليار طن من الكربون كميثان إلى الغلاف الجوي والمحيطات في ذلك الوقت[868].

يتميه الميثان تحت الضغط من ميثان مجتمع مع الماء إلى جزيء معقد[869]. وهناك مقادير كبيرة من هيدرات الميثان ضمن أعماق معينة في المحيط، أحدثها تفكك أجسام العوالق والهائمات وغيرها من المواد العضوية من مناطق تزدهر فيها الحياة. أطلق الميثان فجأةً إلى الغلاف الجوي، وربما حفز اشتعال الميثان إلى CO_2 وH_2O النشاط البركاني[870] ويمكن أن يكون قد حفز بتصادم، أو ببرق، أو باحتراق طبيعي. كانت المحيطات حتى حوالى 10000 عام، أكثر حموضة ممّا هي عليه الآن، بينما كان الـ CO_2 في المحيطات منحبساً بشكل دائم بتجوية الصخور[871]، ثم عادت المحيطات لتصبح قلوية وقد درئت (Buffered) بعمليات التجوية على اليابسة وفي البحار.

ربما تمتد عمليات طرح الغاز إلى ما قبل 183 و55.8 مليون عام، وربما تكونت هذه الكميات من غاز CO_2 من الفقد الهائل للميثان الذي نتج من ترسبات مياه المحيط الضحلة. المعروف إن الميثان غاز دفيئة فعّال يتأكسد بسرعة في الهواء إلى H_2O وCO_2. وليس معروفاً كيف يُحَرّر غاز CO_2 من

---

(865) H. Brinkhuis [et al.], «Episodic Fresh Surface Waters in the Eocene Arctic Ocean,» *Nature*, vol. 441 (2006), pp. 606-609.

(866) H. Brinkhuis [et al.], «Expedition 302 Scientists, 2005: Episodic Fresh Surface Waters in the Eocene Arctic Ocean,»*Nature*, vol. 441 (2005), pp. 606-609.

(867) U. Röhl [et al.], «New Chronology for the Late Palaeocene Thermal Maximum and its Environmental Implications,» *Geology*, vol. 28 (2000), pp. 927-930.

(868) J. C. Zachos [et al.], «Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65Ma to Present,» *Science*, vol. 99 (2001), pp. 686-693.

(869) H. Lu [et al.], «Complex Gas Hydrate from the Cascadia Margin,» *Nature*, vol. 445 (2007), pp. 303-306.

(870) H. Svensen [et al.], «Release of Methane from a Volcanic Basin as Mechanism for Initial Eocene Global Warming,» *Nature*, vol. 427 (2004), pp. 542-545.

(871) J. C. Zachos [et al.], «Rapid Acidification of the Ocean during the Palaeocene-Eocene Thermal Maximum,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 1611-1615.

الميثان فجأةً. والآليات المقترحة في ذلك تتركز حول تسخين المحيطات بالقوة البركانية، يصاحبها تغير تيار المحيط، أو تغير المناخ لإصدار هيدرات الميثان من المترسبات، أو تخفيض مستوى سطح البحار بالابتراد الكوني، وتخفيض ضغط هيدرات الميثان بالترسبات، أو تحفيز إصدار هيدرات الميثان بالزلازل، أو النشاط البركاني، أو نشاط المذنبات أو الصخور النيزكية. وهناك اقتراحات تقول بأن الغازات قد لا تكون استمدت من هيدرات الميثان وإنما من نيران الغابات المحترقة أو من احتراق طبقات الفحم، غير أن الدلائل الموجودة قليلة، والحجم البيولوجي النباتي الكلي على الأرض قليل جداً ليفسر كمية الكربون الكبيرة في الغلاف الجوي.

ودليل آخر هو أثر الحجر النيزكي الغني بالكربون، ولكن فوهات البراكين والغبار الذري المتساقط لم يتم إيجادها. وربما كان هناك تقلّب في المحيطات جلب مياهاً فقيرة بالأكسجين وغنية بالـ CO_2 إلى السطح، ونتج من ذلك تزايد في CO_2 الجوي، وقتل للحياة البحرية المتنفسة للهواء.

ربما يتم تفسير أحداث ما قبل 183 و55.8 مليون عام على أفضل وجه بانهيار واسع الأمد ومفاجئ لهيدرات الميثان الذي تبع تغيرات أكثر تدرجاً مرتبطة بإقحام منطقة كارو النارية (Karoo Igneous Province) (قبل 183 مليون عام)[872] ومنطقة شمال الأطلسي النارية[873][874]. وعلى الرغم من أنها لا تزال بحاجة إلى مزيد من البحث والقياس، فقد تختلف الآثار البيئية التي تتبع وضع منطقة نارية كبيرة اعتماداً على ما إذا كان الوضع قارياً أم بحرياً.

إن احترار أواخر القرن العشرين ليس بتلك الأهمية عند مقارنته بهذه الأحداث. ولكي نفهم المناخ الحديث، نحتاج إلى فهم المناخ في الماضي. وإن

---

(872) K. G. Cox, «The Role of Mantle Plumes in the Development of Continental Drainage Patterns,» *Nature*, vol. 342 (1989), pp. 873-877.

(873) A. G. Saunders [et al.], «The North Atlantic Igneous Province,» in: John J. Mahoney, Millard F. Coffin, eds., *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism,* Geophysical Monograph; 100, American Geophysical Union, 247-272 (Washington, DC: American Geophysical Union, 1997).

(874) D. J. Thomas and T. J. Bralower, «Sedimentary Trace Element Constraints on the Role of the North Atlantic Igneous Province Volcanism in the Late Palaeocene-Early Eocene Environmental Change,» *Marine Geology,* vol. 217 (2005), pp. 233-254.

هذه الحاجة تتطلب إلى معرفة معمقة عن مدة الأحداث المناخية والجيولوجيا وعصورها موثقة بدقة التأريخ الجيولوجي والفلكي. ونحن بحاجة إلى معايرة متداخلة منظمة ومنسقة للساعات النظيرية الإشعاعية، ومعايير الحجارة ونقاط الالتقاء مع الأحداث الفلكية. على سبيل المثال، لا تزال تفصيلات الحدث الحراري الباليوسيني ـ الأيوسيني قبل 55.8 مليون عام غير معروفة جيداً. وإننا نعرف القليل عن التأريخ والتوقيت المحددين للانسيابات داخل خزان الكربون البحري وخارجه. ويصعب تقويم الفرضيات المتنافسة عن الانقراض أو تغير المناخ إلا في حال كانت معلومات كهذه معروفة وموثقة[875].

إن البراكين العظمى الأرضية تفجيرية، وتحدث على امتداد الحزام وراء المتوسط الآسيوي وحول «خاتم النار» للمحيط الهادي. وإن كثيراً من هذه البراكين استوائي، وتقذف غباراً وغازات كبريتية في نصفي الكرة الأرضية. وتعكس هذه المواد السخونة والضوء، فيبرد الكوكب، ولا يمكن لعملية التركيب الضوئي أن تحدث في ظروف كهذه، فالنباتات تموت وتنهار السلسلة الغذائية. وقد قذف بركان سانت هيلينه 0.5 (Mt St Helens) إلى 1 كيلومتر مكعب من الغبار، وقذف بركان كراكاتوا 2800 كيلومتر مكعب من الغبار، وقذفت البراكين في الماضي القريب، في منطقة يلوستون في الولايات المتحدة الأميركية ونيوزيلندا 10000 ـ 100000 كيلومتر مكعب من الغبار. وأصبح الإنسان منقرضاً تقريباً بعد انفجار توبا (Toba) البركاني العظيم.

لعلّه من المثير والمرعب أن نعلم بأن كويكباً أو مذنباً اصطدم بالأرض فانقرضت الديناصورات ذائعة الصيت[876]. والمشكلة هي أن هذا السيناريو ربما لم يحدث. إضافةً إلى ذلك، فإن معظم الديناصورات كانت بحجم الدجاج آنذاك، والأصناف النادرة منها فقط كانت كبيرة كتلك التي ينجذب إليها الأطفال في متاحف التاريخ الطبيعي. ويعطي التسونامي (Tsunami)، والغبار الخانق، والدوي الصوتي، وتساقط النيازك المشتعلة ألواناً لقصص تصادم الكويكبات بمسحة من إخراج هوليوود. لقد كانت هناك تصادمات كبيرة وكثيرة على

(875) H. Pälike and F. Hilgren, «Rock Clock Synchronization,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), p. 282.

(876) L. W. Alvarez [et al.], «Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction Results and Theoretical Interpretation,» *Science,* vol. 208 (1980), pp. 1095-1108.

الأرض، ومن الصعب ربطها مع جميع الانقراضات الجماعية. وإذا كان نطاق الهدف هو حجر الكلس أو الصخور الغنية بالجبس، إذن لانبعثت كميات كبيرة من الـ CO_2 وغازات الكبريتيك إلى الغلاف الجوي وحصلنا على الآثار نفسها التي تحصل نتيجة انبعاثاتها بالقوة البركانية. وقد تكون الانقراضات الجماعية بسبب الكويكبات دورية، وقد تحدث عندما تكون حركة الشمس في زوايا يمينية للسطح المجري[877]. ويمكن لتذبذب الأرض نتيجة تصادم أن يسبّب براكين، وانزياحاً قارياً وانقراضاً جماعياً. مع ذلك لا تجعل النوم يجافي عينيك فهنالك أجسام خارج الأرض مكتوب عليها اسمك ولا يأتي الموت المبكر نتيجة حماقة بشرية فقط.

تسبب التغيرات المناخية بالتأكيد ضغطاً بيولوجياً. ويؤدي الابتراد الكوني، خلافاً للنظرة الشائعة، إلى ضغط بيولوجي، وعند حدوث فترة مطولة من التجلد، ينخفض تنوع أصناف الكائنات الحية، وتظهر انقراضات جماعية ثانوية. فضلاً عن ذلك فإن مستوى سطح البحر ينخفض فَتُفقد موائل ومواطن لكائنات المياه الضحلة. وكانت هذه هي الحال في تجلد النيوبروتوروزويك (قبل 750 إلى 635 مليون عام)، وتجلد العصر البرمي (Permian) (قبل 300 إلى 260 مليون عام). غير أن التجلد البرمي، وعلى الرغم من أن الحياة على قارة غوندوانا (Gondwana) ربما كانت مضغوطة عندما ذهبت في رحلة إلى القطب الجنوبي، إلا أن بقية القارات استوائية، وإن الحياة تزدهر في بيئات كهذه. وعلى الرغم من أن تغير المناخ قد يكون كونياً، إلا أنه لا يؤثر في جميع أنواع الكائنات على كوكب الأرض. كما أن تحرك القارات يفتح طرقاً بحرية ويغلقها، ويغير شكل قاع البحر، ويغير تيارات المحيط والرياح، ولجيمعها أثر في المناخ.

يُنتج الاحترار الكوني عادة ازدهاراً حقيقياً للحياة، وليس انقراضاً. وكانت أحدثت كتل صهارية بركانية نزلت إلى قاع البحر دفئاً شديداً في منتصف العصر الطباشيري[878]. ولم تعمل هذه الكتل الكبيرة على بعث كميات هائلة من الحرارة، ولكنها أصدرت أيضاً كميات كبيرة من بخار H_2O، وCO_2 وميثان إلى

(877) M. R. Rampino and R. H. Stothers, «Terrestrial Mass Extinctions, Cometary Impacts and the Sun's Motion Perpendicular to the Galactic Plane,» *Nature*, vol. 308 (1984), pp. 709-712.

(878) R. L. Larsen, «Geological Consequences of Superplumes,» *Geology*, vol. 19 (1991), pp. 963-966.

الغلاف الجوي. وكانت درجة الحرارة الكونية آنذاك أعلى بـ 6 إلى 14 درجة مئوية مما هي عليه اليوم[879]، وكان فارق درجة الحرارة بين القطبين وخط الاستواء أقل بكثير من اليوم[880]، ولم تكن هناك صفائح جليدية في الجبال أو في القطبين[881]، وكانت هناك زواحف من ذوات الدم البارد تعيش ضمن مناطق مرتفعة بعيدة عن خط الاستواء[882] فقط، وتحركت الحيود البحرية المرجانية نحو القطبين[883]، وتمتع القطب الشمالي والقطب الجنوبي بمناخ معتدل إلى استوائي[884]. هذا وقد غرقت الحيود المرجانية وقُتلت عدة مرات بمياه فقيرة بالأكسجين وهجرة موائلها إلى مناطق أبعد عن خط الاستواء (على سبيل المثال، 36 درجة شمالاً)[885] بفترات متقطعة[886][887][888]. واحتوى القطب الجنوبي على غابات صنوبرية خضراء طويلة الأوراق مع سيكاديات وسرخسيات ونباتات مزهرة قبل 88 ـ 112 مليون عام[889]. ونمت هذه على

---

(879) E. J. Barron, «A Warm, Equable Cretaceous: The Nature of the Problem,» *Earth Science Reviews*, vol. 29 (1983), pp. 305-338.

(880) K. L. Bice, B. T. Huber and R. D. Norris, «Extreme Polar Warmth during the Cretaceous Greenhouse? Paradox of the Late Turonian $\partial^{18}O$ Record at Deep Sea Drilling Project Site 511,» *Palaeoceanography,* vol. 18 (2003), pp. 1-11.

(881) L. A. Frakes, *Climate Changes throughout Geologic Time* (London: Elsevier, 1979).

(882) J. A. Tarduno [et al.], «Evidence of Extreme Climatic Warmth from Late Cretaceous Arctic Vertebrates,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 2241-2244.

(883) C. C. Johnson [et al.], «Middle Cretaceous Reef Collapse Linked to Ocean Heat Transport,» *Geology*, vol. 24 (1966), pp. 376-380.

(884) B. T. Huber, «Tropical Paradise at the Cretaceous Poles?» *Nature*, vol. 282 (1998), pp. 2199-2200.

(885) R. Takashima [et al.], «The First Pacific Record of the Late Aptian Warming Event,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 333-339.

(886) K. B. Föllmi [et al.], «Phosphogenesis, Carbonisotope Stratigraphy and Carbonate Platform Evolution along the Lower Cretaceous Northern Tethyan Margin,» *Geological Society of America Bulletin*, vol. 106 (1994), pp. 729-746.

(887) H. Weissert [et al.], «Correlation of Early Cretaceous Carbon Isotope Signature and Platform Drowning Events: A Possible Link,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 137 (1998), pp. 189-203.

(888) P. A.Wilson [et al.], «The Paradox of Drowned Carbonate Platforms and Origin of Cretaceous Pacific Guyots,» *Nature*, vol. 392 (1998), pp. 88-94.

(889) H. J. Falcon-Lang, D. J. Cantrill and G. J. Nichols, «Biodiversity and Terrestrial Ecology of a Mid-Cretaceous, High-Latitude Floodplain, Alexander Island, Antarctica,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 158 (2007), pp. 709-724.

سهول فيضانية. حيث كانت درجات حرارة الشتاء تتراوح بين من 0 إلى 4 ـ درجة مئوية، ودرجات حرارة الصيف من 20 إلى 24 درجة مئوية[890]. وكان هذا ممكناً فقط لأن الكوكب كان في وضعه الطبيعي دافئاً ورطباً وبركانياً.

كانت درجات الحرارة خلال الميزوزويك، وبخاصة العصر الطباشيري، أدفأ من الآن. ولم يكن هذا زمن انقراض، فقد كان هناك ازدهار واسع للحياة. وقد نُسِبَ الدفء العالمي للعصر الطباشيري إلى المستويات العالية للـ CO_2 في الغلاف الجوي. واستُمد CO_2 من التشكل القاري، والشروخ البازلتية، وبراكين قعر البحر، وشكل تصدع المحيط الأطلسي. غير أن هناك دلائل على أن المناخ الطباشيري كان منفصلاً من محتوى CO_2 في الغلاف الجوي[891][892].

إن انفجارات السوبرنوفات الفائقة أو أشعة غاما (Gamma Ray) أمور عظيمة غير معرّفة في الانقراضات القديمة. ويمكن للأشعة الكونية الإضافية وللإشعاع الشمسي أن يدمرا الحياة بإشعاعاتها. وهنا تكمن أهمية البيئات القديمة التي وفرت لأصناف الكائنات الملاجئ الأرضية وأعماق البحار لكي تعيش، إضافةً إلى قدرتها على إنتاج مواد كيميائية واقية قصيرة الأمد. هذا وقد قيل إن سوبرنوفاً فائقاً أو انفجاراً سببه شعاع غاما كان مسؤولاً عن انقراض كبير حصل ما قبل 450 ـ 440 مليون عام.

لقد ازدهرنا نحن الرئيسيات (Primates)[*] في أزمنة دافئة قبل 5 ملايين عام. وكان مستوى سطح البحر أعلى بعشرة أمتار على الأقل من مستواه اليوم. وقد تعايشت معنا أنواع وفصائل عديدة من الإنسانيات (Hominids) في الزمن نفسه في أفريقيا. ولكن هذا العالم الدافئ سرعان ما أصبح بارداً. فما الذي حدث لثرموستات حرارة الأرض؟ فقد حصل ابتراد سريع وعميق للأرض بدأ قبل حوالى 2.67 مليون عام، فانقرض كثير من الأصناف، بما فيها كثير من الرئيسيات. وكانت الأرض تبرد ويتغير مناخها لأسباب عدة، منها الاضطراب الخفيف في مدار

---

(890) Alan G. Smith, David G. Smith and Brian M. Funnell, *Atlas of Mesozoic and Cenozoic Coastlines* (New York: Cambridge University Press, [1994]).

(891) J. Veizer, Y. Godderis and L. M. Francois, «Evidence for Decoupling of Atmospheric CO_2 and Global Climate during the Phanerozoic Eera,» *Nature*, vol. 408 (2000), pp. 698-701.

(892) Y. Donnadieu [et al.], «Cretaceous Climate Decoupled from CO_2 Evolution,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 248 (2006), pp. 426-437.

(*) الرئيسيات (Primates): أعلى رتب الثديات في عالم الحيوان.

الأرض، والنشاط الشمسي، والسفر المَجرّي، والجغرافية العالمية. وكانت هناك تغيّرات كبيرة في بيئة الأرض، غيّرت من طبيعة خارطة توزيع الأمطار، وتيارات المحيط الاستوائية. أدى ذلك إلى نشأتنا، نحن بني الإنسان (Homo)، وإلى الظهور الأول للأدوات من صنعنا، واللغة، والنار، والجينات الإنسانية.

بيّنت أبحاث أجرتها مؤسسة (JOIDES Resolution) في ترسبات قعر المحيط شمالي الأطلسي تغيراً مفاجئاً في ترسبات القيعان، مما يعلن بداية ظروف قاسية البرودة قبل 2.67 مليون عام[893]. وأشارت تغيرات كيمياء الأكسجين في كائنات بحرية عائمة، وتقلص الغابات، والزيادة في وفرة الرمال التي قذفتها الرياح، إلى بداية مناخ بارد وجفاف[894]، وتغيرت الغابات إلى مراع، وبدأت البشريات بالهجرة حيث أخذت الأشجار بالاختفاء، وازدهرت اللعبة الكبرى المتأقلمة مع المراعي الشجرية في المراعي الممتدة، وكان على البشر الأوائل أن يتحولوا من أكل الفاكهة بشكل مباشر ليصبحوا قارتات[895] (Omnivores) تأكل اللحوم. فاخترعوا أدوات حادة للصيد وقطع اللحوم، وجعل الطبخ اللحوم أكثر قابلية للهضم، أما بنو البشر آكلة النباتات فتوجهوا إلى الراحة الأبدية في انقراض خال من أكل اللحوم.

تلقطت سفينة الأبحاث شالنجر (HMS Challenger) عجيرات غنية بالمنغنيز من قعر المحيط في القرن التاسع عشر. وبعد قرن، أدى هذا الاكتشاف إلى تقنين تعدين قعر البحر، والتقاط العجيرات المنغنيزية من قعر المحيط واكتشاف أنظمة الحرارة المائية Hydrothermal للغواصات. وتم تحليل هذه العجيرات المنغنيزية كيميائياً لكل ما هو تحت الشمس وما يأتي هو تماماً ما تم إيجاده. إن النظير الأجدى بالاهتمام هو نظير ثقيل للحديد (Fe^{60})[896]. وقد وجد أن العجيرات تحتوي على نظائر قصيرة العمر أحدثتها انفجارات السوبرنوفا، لأن

---

(893) L. M. Prueher and D. K. Rea, «Rapid Onset of Glacial Conditions in the Subarctic North Pacific Region at 2.7 Ma: Clues to Causality,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 1027-1030.

(894) K.-H. Baumann and R. Huber, «Sea-Surface Gradients between the North Atlantic and the Norwegian Sea during the Last 3.1 m.y.: Comparison of Sites 982 and 985,» paper presented at: *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, edited by M. E. Raymo [et al.], College Station, TX; vol. 162 (1996), pp. 179-190.

(895) P. B. deMenocal, «Plio-Pleistocene African Climate,» *Science*, vol. 270 (1995), pp. 53-59.

(896) K. Knie [et al.], «Indication for Supernova Produced ^{60}Fe Activity on Earth,» *Physics Reviews Letters*, vol. 83 (1999), pp. 18-21.

العجيرات عمرها بضع ملايين من السنين فقط وتنمو ببطء شديد (0.23 سنتيمتر كل مليون عام)[897]. إضافةً إلى ذلك، إذا أمكن قياس تأريخ الطبقات في العجيرة، فإن توقيت تكون الـ Fe^{60} يمكن تحديده. وهناك عجير محدد، اسمه 237 kd أعطى مفتاحاً للسر الأساسي[898]. وكان هناك تزايد شديد في كميات Fe^{60} نحو قبل 2.8 مليون عام. وبالتزامن مع ذلك تقريباً، اكتشف ساتل (NASA) الذي يسمى بـ RRHESS (Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager) عن طريق الصدفة Fe^{60} في طور التحلل من جمرات سوبرنوفا أثناء تحللها النووي[899]. ويمكن أن يكون شعاع كوني شتائي من سوبرنوفا فائق قريباً قد حفز تغيراً مناخياً أدى إلى نشوء إنساني متسارع وانقراض أجناس بشرية أخرى كثيرة. وكانت الأشعة الكونية ستصدر لمئات الآلاف من السنين بعد انفجار السوبرنوفا الفائق[900].

إن موقع السوبرنوفا الفائق غير معروف. وأفضل الأماكن المتوقع وجوده فيها، هي أوريون في منطقة اسمها اتحاد أوريون أوبي 1 (Orion OB1 Association). وكان الساتل كومبتون (1991 ـ 2000) (Compton) التقط انعكاس السوبرنوفا، أوريون أوبي 1 أواخر عام 1999. إن نجوم أوبي 1 أوريون أدفأ وأشرق وأكبر من 10 إلى 50 مرة من الشمس. وإن لهذه النجوم الزرقاء عمراً قصيراً (30 إلى 100 مليون عام). هذا ويتطلب شعاع كوني من سوبرنوفا فائق في أوبي1 أربعةَ قرون للوصول إلى الأرض. إن فهم أثر النجوم المنفجرة على الأحياء في الأرض لا يزال في بداياته وهو أحد المجالات المستقبلية العظيمة للبحث العلمي. ويُعتقد أن حزام غولد (Gould's Belt) هو المكان الأول للبحث، ولا تزال مغامرات النظام الشمسي وهو يَعسٌ في مجرة درب اللبانة وتأثير النجوم الجوارية في المجرة عليه غير محتسبة تماماً.

---

(897) N. Kinoshita [et al.], «Incorporation Rate Measurements of ^{10}Be,^{230}Th, ^{231}Pa and ^{239,240} Pu Radionuclides in Manganese Crust in the Pacific Ocean: A Search for Extraterrestrial Material,» *Journal of Oceanography,* vol. 63 (2007), pp. 813-820.

(898) D. M. Smith, «The Reuven Ramaty High Energy Solar Spectroscopic Imager Observation of the 1809 KeV Line from Galactic 26Al,» *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 589 (2003), pp. L55-L58.

(899) P. T. Gallagher [et al.], «Rhessi and Trace Observations of the 21 April 2002x1.5 Flare,» *Solar Physics*, vol. 210 (2002), pp. 341-356.

(900) Knie [et al.], «Indication for Supernova Produced ^{60}Fe Activity on Earth,» pp. 18-21.

لقد كان التنافس البيولوجي ولا يزال معنا وهو يحدث باستمرار انقراضاً. وقد تحدث الأوبئة التي تسببها الفيروسات والبكتريا العابرة للأنواع تغييرات وتحولاً في الأنواع أو حتى انقراضاً جماعياً. ويصعب التحقق من هذه لأن بكتريا الأحفوري والفيروسات نادرة جداً، والأمراض العابرة للأنواع (Trans-Species Diseases) لا تتعلق بالبيئة (على سبيل المثال، يعاني الإنسان والمدرع (Armadillo) وهو حيوان ثديي جنوب أميركي، الجذام (Leprosy)). وهناك مفاتيح قليلة في سجل الأحفوري تساعدنا في فهم هذا السيناريو. غير أن ازدهار الطحالب في طرق المياه الأرضية، وازدهار الطحالب الحمر في البحار تدل على أن هذه آلية ممكنة.

إن «الجينات الأنانية» تكافح باستمرار في هذا العالم من الضغوط النشوئية المتنافسة للوصول إلى حياة أطول، وموطن أفضل للعيش. ولما كان للثديات الأرضية حياة أقل من مليوني عام، فلدينا تحول مستمر للكائنات التي قد لا تساق بشيء فوق عادي. «إلحظ هذه الفقرة عندما تقرر القيام بتصنيف الأنواع».

انقراض الحيوانات الكبيرة الحديث

إن معظم مياه كوكب الأرض كانت محصورة في صفائح جليدية قارية خلال العصر الجليدي الأخير، وكان مستوى سطح البحر أدنى بـ 130 متراً من الآن، تقلصت عندئذٍ الغابات إلى مراع وجرت الرياح الباردة حولها. وكان الإنسان قادراً على الهجرة إلى مناطق لم يصلها من قبل بسبب انخفاض مستوى سطح البحر. فعلى سبيل المثال، كان دخول الإنسان إلى شمال أميركا من آسيا عن طريق مضيق بيرينغ (Bering Strait) خلال فترة باردة جداً هي ما بعد جليدية. ولا بد أنه كان منظراً خلاباً. وفي خضم أزمنة قارسة البرودة، كانت هناك بلاد، موعود بها (أميركا)، وصل إليها البشر مع عدد كبير من الطيور والثدييات البرية. وأيضاً انقرض ضمن فترة قصيرة، حوالى 40 صنفاً من هذه الكائنات[901].

إن الصيد هو الطريقة التقليدية التي كان الإنسان بواسطتها قادراً على الحصول على البروتين الضروري لحياته. فإن بروتين اللحم المطبوخ يعطي فرصةً أفضل للعيش مقارنة بالغذاء النباتي. وربما كان البرد القارص لدراياس

(901) Jared Diamond, *Guns, Germs and Steel* (New York: W. W. Norton and Co., 1997).

الأصغر (Younger Dryas) في أماكن أخرى هو الذي أدى إلى نشأة الزراعة والعناية بالحيوان. وقد كانت الأراضي الأكثر خصوبةً تستعمل للرعي ولجني المحاصيل. وكانت الأراضي غير الخصبة متروكة للطبيعة. فأصبح الصيد مع الوقت أقل ضرورة.

ينقل السفر، والهجرة، والتجارة الأنواع الغريبة من الأحياء. وهذا ما جعل الاستمرار في العيش عند الكائنات عالمياً أكثر، وأصبحت الأنواع المستوطنة في عدة أماكن (وبخاصة في الجزر) منقرضة. وكان هناك معدل سريع للانقراض، وبخاصة بين المجاميع الحيوية الكبيرة (Macrofauna)، في آخر عصر البلايستوسين (أستراليزيا)، والبلايستوسين الأخير (في قارة أمريكا)، ومن أوائل الهولوسين إلى منتصفه (جزر الهند الغربية وجزر المتوسط) والهولوسين الأخير (مدغشقر، نيوزيلاندا وجزر المحيط الهادي). وتزامنت أحداث الانقراض هذه مع الاستعمار البشري[902]. وتبيّن تواريخ التوقيتات المختلفة للانقراض أن تغيرات المناخ العالمية لا يمكن أن تكون قد فرضت الانقراض[903]. ولم يتزامن الانقراض على مدى القارة في أستراليا مع أحداث المناخ الأقسى، مما يدل على أن الإسراف في الصيد كان هو المسبب.

باستثناء الانقراض في القارة الأميركية، خلال درياس الأصغر، لا يتعلق أي من أحداث الانقراض هذه بتغير المناخ[904]. وكان هناك انقراض في القارة الأميركية لنوع واحد من الكائنات كل 40000 عام حتى ما قبل 12000 عام مضت[905]. وكان هناك انقراض مدته 12000 عام قبل حوالى 12000 سنة فقد فيها 57 نوعاً، بما فيها ثلاثة أجناس من الفيلة، و«الماموث»، و«المستودون»،

(902) D. W. Steadman [et al.], «Asynchronous Extinction of Late Quaternary Sloths on Continents and Islands,» *Proccedings of the National Academy of Sciences,* vol. 102 (2005), pp. 11763-11768.

(903) B. Brook [et al.], «Would the Australian Megafauna have Become Extinct if Humans had Never Colonized the Continent? Comment on «A Review of the Evidence for the Human Role in the Extinction of Australian Megafauna and an Alternative Explanation» by S. Wroe and J. Field,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 26 (2007), pp. 3-4.

(904) D. A. Burney and T. F. Flannery, «Fifty Millennia of Catastrophic Extinctions after Human Contact,» *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 20 (2005), pp. 395-401.

(905) E. Bulte, R. D. Horan and J. Shogten, «Megafauna Extinction: A Palaeoeconomic Theory of Human Overkill in the Pleistocene,» *Journal of Economic Behaviour and Organisation*, vol. 59 (2006), pp. 297-323.

والكسلان الأرضي العملاق، والخيل والإبل. وحدث الانقراض لنوع واحد كل 30 عاماً. كما يبدو أن حيوانات المجاميع الضخمة في المراعي لم تتأقلم مع مفترسيها الجدد، التي أوغلت بقتلها بشدة[906][907]. وساعدت الضغوط البيئية التي حركها الإنسان مثل النار، وإدخال الأنواع المتنافسة، والصيد ضمن مدى محلي[908] وإقليمي[909] على الانقراض. وبينما كان الناس يهاجرون جنوباً من شمال إلى جنوب أميركا، كان حوض الأمازون يتغير من مراع بأيكات من أشجار إلى غابات مطيرة. وكان هذا التغير في الموئل والموطن ساعد في انقراض هذه الحيوانات.

كان هناك انقراض شديد لحيوانات المجاميع الكبرى (Megafauna) في أميركا وأستراليا ومدغشقر، وجزر المتوسط، ونيوزيلندا، وجزر المحيط الهادي وجزر الهند الغربية. وفي كل حال تبع الانقراض الغزو البشري والاستعمار[910]. فعلى سبيل المثال، اختفت في قارة أميركا حيوانات من ألاسكا إلى الأرجنتين في نفس الوقت قبل 12000 إلى 11000 عام. وكان الاستثناء أنتيل الكبرى (Greater Antilles) حيث اختفت جميع حيوانات الكسلان (Sloth) وغيرها من المستوطنات قبل 6000 عام عندما استعمر الإنسان هذه الجزر[911]. ولم يكن درياس الأصغر زمن انقراض في أستراليا ومدغشقر ونيوزيلندا وغيرها من جزر المحيط الهادي.

وهناك بعض أحفوري لثدييات مؤرخة جيداً، غير أن الأحفوري في

---

(906) B. W. Brook, and D. M. J. S. Bowman, «Explaining the Pleistocene Megafaunal Extinctions: Models, Chronologies, and Assumptions,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 99 (2002), pp. 14624-14627.

(907) A. J. Stuart [et al.], «Pleistocene to Holocene Extinction Dynamics in Giant Deer and Woolly Mammoth,» *Nature*, vol. 431 (2004), pp. 684-689.

(908) G. J. Prideaux [et al.], «Mammalian Responses to Pleistocene Climate Change in Southeastern Australia,» *Geological Society of America*, vol. 35 (2004), pp. 33-36.

(909) B. W. Brook [et al.], «Would the Australian Megafauna have become Extinct if Humans had Never Colonized the Continent? Commnets on «A Review of the Evidence for a Human Role in the Extinction of Australian Megafauna and an Alternative Explanation» by S. Wroe and J. Field,» *Quaternary Science Review*, vol. 26 (2005), pp. 560-564.

(910) Paul S. Martin, *Twilight of the Mammoths: Ice Age Extinctions and the Rewilding of America* (Berkeley, CA: University of California Press, 2005).

(911) D. W. Steadman, G. K. Pregill and S. L. Olson, «Fossil Vertebrates from Antinqua, Less Antilles: Evidence for Late Holocene Human-Caused Extinctions in the West Indies,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 81 (1984), pp. 4448-4451.

ألاسكا وأراضي يوكن (Yulcon Territory) تبين أن كائنات كثيرة عاشت بعد الغزو الإنساني من 13500 إلى 11500 عام مضت وبدأت بالتزايد في عددها قبل الاستيطان البشري وخلاله. ومن الأمثلة على ذلك الثور الأميركي (Bison priscus) الذي تطور إلى بيسون بيسون (Bison bison)، وابيتي (Wapiti) (الأيل الأميركي) والموط (Moose)، وكانت هذه الزيادات حصلت قبل انقراض الحصان والماموث. وهذا يدل على أن شيئاً غير الحملة الإنسانية المفاجئة، مثل فعل بشري حاذق، أو تبديل موقع، أو برد درياس الأصغر قد يكون السبب الأكثر احتمالاً[912].

وخلافاً للبيسون والإلكة، كان الحصان والماموث معدّين بدنياً لهضم كميات كبيرة من العشب الفقير بالمواد الغذائية عندما كانت منطقة ألاسكا ـ يوكون باردة، وبدون أشجار، وجافة. وعندما جاء الدفء وبدأت الأمطار، أصبح العشب أخضر وأغنى، فجذب الإلكة والبيسون. وبدأت الغابات الخضر بتبديل الكلأ، واستخرجت الأشجار المواد الغذائية من التربة، وحمت نفسها بالراتنج (مادة صمغية) (ومواد كيميائية أخرى جعلتها كريهة). وماتت الأحصنة بدايةً، واستمر الماموث بعدها لألف عام وأكثر، وتراجعت الإلكة والبيزون تراجعاً دراماتيكياً، ولكنها عاشت، بينما بقي الماموث، الآكل للشجر الوحيد ضمن الحيوانات، على قيد الحياة بدون تأثر.

بينما كانت تغيرات درجات الحرارة خلال درياس الأصغر عالمية، تأقلمت الحيوانات الكبرى. غير أن تغيرات الترسبات كانت سريعة. وتحولت السهب الجافة في سيبيريا إلى مستنقعات وأراض سبخة في فترة البريبوريل (Preboreal)، بعد درياس الأصغر، مما أدى بالماموث إلى أن يموت قبل نحو 11200 عام مضت. وهلكت مجاميع الحيوانات الأميركية الكبيرة مع بداية درياس الأصغر قبل نحو 12500 عام مع فترة جفاف قصوى[913].

هناك نظرة شائعة بأن الاحترار الكوني يؤدي إلى انقراض الأنواع. وعلى الرغم من أن تغيرات المناخ تؤثر في الأمد الجغرافي وفي استمرار العدد

(912) R. D. Guthrie, «New Carbon Dates Link Climatic Change with Human Colonization and Pleistocene Extinctions,» *Nature*, vol. 441 (2007), pp. 207-209.

(913) K. W. Flessa and D. Jablonski, «Extinction is here to Stay,» *Paleobiology*, vol. 9 (1983), pp. 315-321.

السكاني، فإن القليل معروف عن الاستجابة الجينية لتغير المناخ. تعطي الأحماض النووية القديمة إجابةً ملتبسة لنوعين من الثدييات المنتشرة خلال تغير المناخ الهولوسيني الأخير. وعلى الرغم من الانخفاض في عدد بعض السكان في أزمنة تغير المناخ، فإن بعض الأنواع ستظهر تراجعاً في التنوع الجيني، كما هو متوقع، بينما لن تتراجع أنواع أخرى[914].

تغير المناخ الحديث والانقراض

هناك الكثير من العاطفة يتعلق بالانقراض[915][916][917]. وتقول بعض التخمينات إن ارتفاعاً بدرجة الحرارة مقداره 0.8 درجة مئوية خلال 50 عاماً سينتج منه انقراض مقداره 20 في المئة من أنواع كائنات العالم. وإذا كان الوضع هكذا، فمن المفترض أن نكون قد رأينا انقراضاً جماعياً للحياة في الاحترار المينوي (Minoan)، والاحترار الروماني وفي احترار العصور الوسطى. غير أننا لم نر ذلك. وربما نعيش في فترة من الانقراضات المنخفضة، مع بعض الأنواع التي انقرضت خلال المليوني عام ونصف المليون الماضية[918]. وقد تكون الإسقاطات الحالية للانقراضات مبالغة في التقدير عندما نركز على الفقاريات الأرضية، وليس على طيف الحياة على الأرض ككل.

لقد عززت IPCC النظرة بأن الاحترار الكوني يحدث انقراضاً. وكانت هذه مبنيةً على دراسة واحدة فقط. وإن الاقتراحات بأن الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان ينتج منه انقراض هي في أحسن حالاتها ليست صحيحة علمياً. وقد قيل إن ارتفاع درجة حرارة سطح البحر في المحيط الهادي الاستوائي أدى إلى اختفاء 22 من 50 نوعاً معروفاً من الضفادع والعلجومات (Toads) في غابة

(914) E. A. Hadly [et al.], «Genetic Response to Climate Change: Insights from Ancient DNA and Phytochronology,» *Public Library of Science Biology*, vol. 2 (2004), pp. 1600-1609.

(915) C. D. Thomas [et al.], «Extinction Risk from Climate Change,» *Nature*, vol. 427 (2004), pp. 145-148.

(916) T. Root [et al.], «Fingerprints of Global Warming on Wild Animals and Plants,» *Nature*, vol. 421 (2003), pp. 57-60.

(917) C. Parmersan and G. Yohe, «A Globally-Coherent Fingerprint of Climate Change Impacts Across Natural Systems,» *Nature*, vol. 421 (2003), pp. 37-42.

(918) D. B. Botkin [et al.], «Forecasting the Effects of Global Warming on Biodiversity,» *BioScience*, vol. 57 (2007), pp. 227-236.

مونتيفيردي (Montverde) الغيمية لكوستاريكا[919]. غير أن الباحثين قالوا أيضاً إن إزالة الأحراج في المناطق المنخفضة له أثر رئيسي في الحفاظ على غابات الغيوم. وقد تم تجاهل هذا الحفاظ، واعتبر الاحترار الكوني الذي سببه الإنسان على أنه سبب الانقراض. وعلى الرغم من أن 21 من هذه الأنواع معروفة في مناطق آخرى، فقد صنف واحد منها (العلجوم الذهبي) بأنه فقد موئله وأصبح منقرضاً. وكان فقدان هذا النوع فقط قد أدى إلى استنتاج أن الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان يمكن أن يحدث انقراضاً لـ 20 في المئة من أصناف الكائنات خلال خمسين عاماً مع ارتفاع لدرجة الحرارة مقداره 0.8 درجة مئوية. من ناحية أخرى إن الرياح التي تجلب هواءً رطباً من الكاريبي تمضي خمس ساعات إلى عشر ساعات فوق المناطق المنخفضة قبل أن تصل إلى موئل العلجوم الذهبي. وبحلول عام 1992، بقي 18 في المئة من نباتات الأراضي المنخفضة بعد أن أزيلت الأحراج منها تماماً، مما نتج منه تزايد في ارتفاع قاعدة الغيوم، وبالتالي حرمان غابات الغيوم من رطوبتها[920]. وأحدث انجراد الأحراج من الأراضي انقراضاً للعلجوم الذهبي، وليس بسبب الاحترار الكوني.

إن تقديرات تأثير تغير المناخ على الحياة البرية باستعمال نموذج رياضي كالذي صادقت عليه IPCC مثال جيد. فعندما طبق النموذج لم تكن النتائج متوافقة مع التوزيع الحديث للحياة البرية[921]. ويتوافق هذا مع دراسات أخرى حول أثر تغير المناخ في الحياة البرية[922][923][924]، غير أنها لا قيمة لها، لأن،

---

(919) J. A. Pounds and S. H. Schneider, *Present and Future Consequences of Global Warming for Highland Tropical Forests Exosystems: The Case of Costa Rica*, U. S. Global Change Research Program Seminar, Washington, 29 September 1999.

(920) R. O. Lawton [et al.], «Climate Impact of Tropical Lowland Deforestation on Nearby Mountain Cloud Forests,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 584-587.

(921) C. M. Beale, J. J. Lennon and A. Gimona, «Opening the Climate Envelope Reveals no Macroscale Associations with Climate in European Birds,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 105 (2008), pp. 14908-14912.

(922) R. G. Pearson and T. E. Dawson, «Predicting the Impacts of Climate Change on the Distribution of Species: Are Bioclimate Envelope Models Useful?,» *Global Ecology and Biogeography*, vol. 12 (2003), pp. 361-371.

(923) W. Thuiller, «Patterns of Uncertainties of Species' Range Shifts under Climate Change,» *Global Change and Biology*, vol. 12 (2006), pp. 2020-2027.

(924) A. Hampe, «Bioclimate Envelope Models: What they Detect and What They Hide,» *Global Ecology and Biogeography*, vol. 13 (2004), pp. 469-476.

وعلى الرغم من التقدم في النمذجة الرياضية، الافتراضات المعمولة بسيطة وتنقصها المتغيرات الدقيقة. كما أن مدى الأخطاء فيها كبير، ولا يمكن تقديره تقديراً يُعتمد عليه. وقد حذرتنا النماذج نفسها من أنه سيكون هناك انقراض جماعي إذا ارتفعت درجة الحرارة، غير أن هذه التوقعات عن الانقراض هي بخلاف ما رأيناه مع احترارات ماضية. وإن تشاوراً مع أوركل أت دلفي (Oracle at Delphi) سيكون منهجاً مفيداً أكثر للتوقع.

كانت تخمينات عاطفية أخرى عن الانقراض مضللة أيضاً، مثل تلك التي تتعلق بالثعالب في القطب الشمالي، التي تحدثت عنها IPCC. وإن مانشر عن الثعالب حقيقة لا يتعاطى مع الانقراض، بل مع هجرة الثعالب الحمر إلى موطن ثعالب القطب الشمالي في شمال أميركا ويوراسيا. وقد نجت الثعالب القطبية من احترار العصر مابين الجليدي الأخير والاحترار الروماني واحترار العصور الوسطى. وبالتالي فإنه من المستبعد أن يؤدي احترار أخف في القرن العشرين إلى انقراضها. وهناك تنوع كبير في أسباب هجرة الأنواع الحيوانية، يبدو متعلقاً بالصيد أو المنافسة بدلاً من الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان[925].

يسند الرأي القائل إن احتراراً كونياً سببه الإنسان سيحصل مستقبلاً، من خلال افتراض تغير مناخي سريع لا تتمكن فيه النباتات والحيوانات من التأقلم مع معدل التغير في درجة الحرارة. وتتجاهل هذه النظرة الماضي، حيث كانت هناك تغيرات مناخية كبيرة على مدى عقود ولم تؤد إلى انقراض النباتات والحيوانات. فعلى سبيل المثال، يسجل تجلد فريمونت في وايومنغ (Fremont Glacier in Wyoming) احتراراً أساسياً من سنة 1840 إلى 1850[926]. وإن احتراراً أساسياً آخر حصل في أقل من عقد من الزمان كان أسرع بكثير مما توقعته النماذج المفجعة الخطيرة للاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان، غير أنه لا تتوفر دلائل على حصول انقراض في شمال أميركا في ذلك الوقت.

(925) P. Hertsteinsson and D. W. Macdonald, «Interspecific Competition and the Geographic Distribution of Red and Arctic Foxes,» *Vulpes Vulpes and Alopex Lagopus. Oikos*, vol. 64 (1992), pp. 505-515.

(926) P. F. Schuster [et al.], «Chronological Refinement of an Ice Core Record at Upper Fremont Glacier in South Central North America,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 105 (2000), pp. 4657-4666.

لقد عاشت النباتات والحيوانات متعددة الخلايا على الأرض على الأقل لـ 500 مليون عام، ولقد مرّت بعشربن تغيراً مناخياً رئيسياً على الأقل. وإذا تبعنا المناقشة العاطفية متوخين استنتاجها المنطقي، فلن يكون هناك كائنات متعددة الخلايا على الأرض، ولكانت الاحترارات السابقة قد قوّضت الحياة، وجعلت كائناتها منقرضة، ولأصبح كوكب الأرض سطحَ قمرٍ أجردَ. والسؤال لماذا لم يكن هناك انقراض في العصر ما بين الجليدي الإيميني (Eemian Interglacial)، وفي درایاس الأصغر، أو الاحترار الروماني، أو العصور المظلمة، واحترار العصور الوسطى أو العصر الجليدي الصغير؟ لماذا يكون احترار القرن العشرين وحده هو الذي سينتج انقراضاً، بينما لم يحدث انقراض في أزمنة سابقة كان الجو فيها أدفأ؟

تقول المناقشة الأساسية إن النباتات أحياء ثابتة، وبالتالي فإن احتراراً كونياً سريعاً سيدفعها نحو الانقراض. ويقول السيناريو إنه عندما تنقرض النباتات، فستصبح الحيوانات العشوبة منقرضة أيضاً. ولأن ذلك لم يُرَ في احترارات سابقة، فيجب لأجراس الإنذار أن تقرع لأولئك الذين يفكرون بالانقراض الذي سببه الاحترار. وإن ما لوحظ هو أن النباتات في القطب الشمالي تأقلمت مع الظروف القارصة، ولكن توزيعها يندر أن يكون ثابتاً أو محدوداً بظروف دافئة[927][928][929][930]. وإن كثيراً من النباتات القطبية والألبية تتحمل درجات حرارة عالية، وتحصد الأشجار الناضجة الضوء، فعندما تموت شجرة ناضجة سرعان ما تُبدل بغيرها. وتتطلب هذه العملية وقتاً، وتعطي بالتالي الأشنة والفطر والحيوانات الوقت لتتحرك مع نظام البيئة للنباتات المهاجرة.

يبيّن علم الجيولوجيا أن هناك انفجاراً للحياة في أوقات الاحترار الكوني، ويزداد التنوع ويكون سريعاً. وقد حدث الانفجار «الكمبري» للحياة (قبل 542 ـ

---

(927) C. Loehle, «Height Growth Rate Trade Offs Determine Northern and Southern Range Limits for Trees,» *Journal of Biogeography*, vol. 25 (1998), pp. 735-742.

(928) Y. Gauslaa, «Heat Resistance and Energy Budget in Different Scandinavian Plants,» *Holarctic Ecology*, vol. 7 (1984), pp. 1-78.

(929) J. Levitt, *Responses of Plants to Environmental Stresses* (New York: Academic Press, 1980), vol. 1.

(930) L. Kappen, «Ecological Significance of Response to High Temperature,» in: *Physiological Plant Ecology. I. Response to the Physical Environment*, edited by O. L. Lange [et al.] (New York: Springer-Verlag, 1981).

520 مليون عام) في الأزمنة الدافئة ما بعد الجليدية عندما كان الـ CO_2 الجوي يزيد خمساً وعشرين مرة على الأقل مما هو عليه اليوم. كما حدثت تنوعات أخرى عظيمة في الماضي. وكانت الغابات المليئة بالأنواع موجودة خلال الأزمنة الترتيرية في غرب الولايات المتحدة الأميركية، حيث نمت كائنات جبلية مع شجرات صنوبر مختلطة وأوراق نبات صلبة منوعة[931][932]. ويمكن الادعاء بأن الاحترار الكوني يمكن أن ينتج انقراضاً فقط بتجاهل تاريخ الكوكب تجاهلاً تاماً.

وقيل في توفيقات حديثة إن درجات الحرارة المتزايدة تجلب مزيداً من تنوع الأحياء[933] من خلال اتساع مدى نمو النباتات والحيوانات. وقد حدث في أزمنة ماضية من الاحترار أن استبدلت غابات عالية الارتفاع بغابات منخفضة فحصل تنوع أكبر في هذه الأحياء، ويتوقع حدوث ذلك في احترار آخر. إضافةً إلى ذلك، إذا كان لمناخ دافئ في المستقبل محتوى أعلى للـ CO_2 الجوي، فستكون الحياة النباتية أفضل، لأن الـ CO_2 المتزايد يمكّن النباتات من النمو نمواً أفضل ضمن درجات الحرارة كلها، وبخاصة ضمن درجات أعلى. وإن كلاً من الحيوانات والنباتات محدد بهوامش البرد في خطوط العرض والارتفاع وليس بحدود الحرارة في مداها[934][935][936][937][938]. وإذا تضاعف الـ CO_2 الجوي، فلن يتأثر نمو

---

(931) D. I. Axelrod, «Mio-Pliocene Floras from West-Central Nevada,» *University of California Publications in the Geological Sciences*, vol. 33 (1956), pp. 1-316.

(932) D. I. Axelrod, «The Late Oligiocene Creede Flora, Colorado,» *University of California Publications in the Geological Sciences*, vol. 130 (1987), pp. 1-235.

(933) S. Idso, C. Idso and K. Idso, *The Specter of Species Extinction* (Washington, DC: The Marshall Institute, 2003), pp. 1-39.

(934) K. E. Idso and S. B. Idso, «Plant Responses to Atmospheric CO_2 Enrichment in the Face of Environmental Constraints: A Review of the Past 10 Years' Research,» *Agriculture and Forest Meteorology*, vol. 69 (1994), pp. 153-203.

(935) M. G. R. Cannell and H. H. M. Thorley, «Temperature and CO_2 Responses of Leaf and Canopy Photosynthesis: A Clarification Using the Non-Rectangular Hyperbola Model of Photosynthesis,» *Annals of Botany*, vol. 82 (1998), pp. 883-892.

(936) R. R. Nemani [et al.], «Climate-Driven Increases in Global Terrestrial Net Primary Production from 1982 to 1999,» *Science,* vol. 300 (2003), pp. 1560-1563.

(937) B. A. Kimball, «Carbon Dioxide and Agricultural Yield: An Assemblage and Analysis of 430 Prior Observations,» *Agronomy Journal,* vol. 75 (1983), pp. 779-788.

(938) H. E. Saxe, D. S. Ellsworth and J. Health, «Tree and Forest Fluctuating in an Enriched CO_2 Atmosphere,» *New Phytologist,* vol. 139 (1998), pp. 395-436.

النباتات ضمن عشرة درجات مئوية، ولكنه يتضاعف ضمن 38 درجة مئوية.

بيّنت قياسات الأقمار الاصطناعية للحياة النباتية، ضمن مدى عالمي، بين عام 1982 و1999 أن نمو النبات ازداد 6 في المئة استجابةً لزيادة قليلة في تساقط الأمطار وارتفاع قليل في درجة الحرارة، ولكن التغير الرئيسي كان بسبب الـ CO_2 المتزايد قليلاً. فإذا تضاعف محتوى الـ CO_2، تكون نسبة ارتفاع الإنتاج الصافي للأعشاب بين 30 إلى 50 في المئة، بينما تكون النسبة بين 50 إلى 80 في المئة بالنسبة إلى الأشجار. ولم يتغير عدد أنواع النبات في جبال الألب من 1895 إلى يومنا هذا. وازدادت درجات حرارة قمم الجبال درجتان مئوية منذ 1920، إن 1.2 درجة من هذا الازدياد حصل خلال الثلاثين عام الماضية. ولم تُظهر تسع قمم من الثلاثين تغيراً في عدد أنواع الكائنات، وحصلت 11 منها على 59في المئة من الأنواع أكثر، وكان في واحدة منها ازدياد بنسبة 143 في المئة من الأنواع. وأظهرت القمم الـ 30 متوسط فقدان الأنواع بنسبة 0.68 من معدل 15.57 نوع[939]. ولا يعني خسارة نوع من الكائنات في جبل معيّن انقراضاً، لكنه يبيّن تحركاً محلياً للتنوع النباتي. وهناك دراسات أخرى عديدة عن الحزاز[940]، والنباتات[941][942][943]، والفراشات[944]، والطيور[945]، والعوالق[946]،

(939) H. Pauli, M. Gottfried and G. Grabherr, «Effects of Climate Change on Mountain Ecosystems-Upward Shifting of Mountain Plants,» *World Resources Review*, vol. 8 (1996), pp. 382-390.

(940) C. M. Van Herk, A. Aptroot and H. F. Dobben, «Long Term Monitoring in the Netherlands Suggests that Lichens Respond to Global Warming,» *Lichenologist*, vol. 34 (2002), pp. 141-154.

(941) E. Sobrino [et al.], «The Expansion of Thermophilic Plants in the Iberian Peninsula as a Sign of Climate Change,» in*: «Fingerprints» of Climate Change: Adapted Behavior and Shifted Species Ranges*, edited by G. R. Walther, C. A. Burga, and P. J. Edwards (New York: Plenum, 2001), pp. 163-184.

(942) M. Sturm, C. Racine, and K. Tape, «Increasing Shrub Abundance in the Arctic,» *Nature*, vol. 411 (2001), pp. 546-547.

(943) R. I. L. Smith, «Vascular Plants as Bioindicators of Regional Warming in Antarctica,» *Oecologia*, vol. 99 (1994), pp. 322-328.

(944) E. Pollard, D. Moss and T. J. Yates, «Population Trends of Common British Butterflies at Monitored Sites,» *Journal of Applied Ecology*, vol. 32 (1995), pp. 9-16.

(945) N. K. Jackson, «Pioneering and Natural Expansion of Breeding Distributions of Western North American Birds,» *Studies in Avian Biology*, vol. 15 (1994), pp. 27-44.

(946) A. J.Southward, «Seventy Years' Observation of Changes in Distribution and Abundance of Zooplankton and Intertidal Organisms in the Western English Channel in Relation to Rising Sea Temperatures,» *Journal of Thermal Biology*, vol. 20 (1995), pp. 127-155.

والأنظمة البحرية[947][948]، والسمك[949]، تظهر أن ارتفاعاً طفيفاً في درجة الحرارة يسبّب زيادةً في التنوع، وهجرةً لها وتأقلماً.

تبيّن هذه الملاحظات أن كوكب الأرض ديناميكي. وتتأقلم الحياة فيه باستمرار مع التغير. وستتأقلم الحياة مع التغير عندما ترتفع درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون الجوي قليلاً. وليس مهماً أكانت التغيرات طبيعية أم سببها الإنسان. هذا وحصلت تغيرات أعظم في أزمنة ما قبل الصناعية بدون أن تنقرض الأحياء. وقد تكون دراسات مفصلة قد سجلت في مجال معيّن انقراضاً محلياً، ولكن هذا مضلل، فالانقراض هو فقدان لكل الأنواع، بينما قد يعني الانقراض المحلي أن نوعاً من الكائنات قد هاجر إلى منطقة أخرى. وبعض الأنواع التي ظن أنها انقرضت في منطقة واحدة، وجدت في منطقة أخرى بعد عدد من العقود.

إن القول إن درجات الحرارة المتزايدة والـ CO_2 الجوي المتزايد سينتج منهما انقراض للنبات مثل القول إن الـ CO_2 ليس غذاءاً للنبات. وحتى لو احترّ الكوكب بسبب تزايد الـ CO_2 الجوي، فإن النباتات لن تشعر بحاجة إلى الهجرة إلى مناطق أبرد من كوكبنا، بل إن الوضع على خلاف ذلك. ولسوف تمتص النباتات الصغيرة مزيداً من الـ CO_2 أكثر من النباتات الكبيرة. وإذا توخينا برنامجاً فاعلاً لعزل كربون النبات، فلا بد أن نقطع جميع غابات النمو القديمة ونزرع شجيرات، أو حتى نترك ما كان غابةً كعشب، وكلاهما سيمتص مزيداً من الـ CO_2 نسبة إلى الأشجار الناضجة.

ما الذي سيحدث للمحاصيل الحقلية إذا حصل احترار كوني؟ ومثلما هو الحال في العلوم، هناك بيانات متضاربة ولا توجد أجوبة بسيطة لها[950]. ولقد أنتجت عقود عدة من البحث في آثار تركيز الـ CO_2 المرتفع على نمو

---

(947) R. C. Smith [et al.], «Marine Ecosystem Sensitivity to Climate Change,» *BioScience*, vol. 49 (1999), pp. 393-404.

(948) R. D. Sagarin [et al.], «Climate-Related Change in an Intertidal Community Over Short and Long Time Scales,» *Ecological Monographs*, vol. 69 (1999), pp. 465-490.

(949) Simon Collins, «Antarctic Fish Set to Survive Warmer Seas,» *New Zealand Herald* (16 April 2004).

(950) F. N. Tubiello [et al.], «Crop Response to Elevated CO_2 and World Food Supply: A Comment on «Food for Thought...» by Long [et al.], Science 312: 1918-1921, 2006,» *European Journal of Agronomy*, vol. 26 (2007), pp. 215-223.

المحاصيل وإنتاجها، غنىً من المعلومات[951][952][953]. وتعزز الزيادة بـ 300 ppmv في الـ CO_2 الجوي نمو حبات C_3 (49 في المئة)، وحبات C_4 (20 في المئة)، والفواكه والبطيخ (24 في المئة)، البقوليات (44 في المئة)، والجذور والدرنات (48 في المئة)، والخضار (37 في المئة). ويجب أن نتذكر أن الـ CO_2 غذاء للنبات، وليس ملوثاً، وهو محفز عظيم لحياة النبات على الأرض. وإن زيادة في الـ CO_2 الجوي ليس بالأمر الضار أبداً بالحياة على الأرض. بل هو مفيد.

على الرغم من أن الدفيئة التي تحوي نسبة عالية من الـ CO_2 تحفز النمو، غير أن إثراء الهواء بثاني أكسيد الكربون خارج الغرف البيئية المحكمة كهذه يعطي قصة مختلفة. فعلى الرغم من عقود خلت من الأبحاث، فلا يزال هناك شك بما يتعلق بأثر الـ CO_2 المرتفع لاسيما في ظل تلوث الهواء، والتغيرات الملازمة في الرطوبة، والتغذية المعدنية، ومعدل الإصابة بالأمراض والأعشاب الضارة.

هناك نماذج احترار كوني تدل على أن درجات الحرارة المرتفعة، ورطوبة التربة المنخفضة يعملان على خفض إنتاج المحاصيل بحلول عام 2050، ولكن مفارقات كهذه هي أكثر من مجرد تغير بسبب التلقيح المباشر لثاني أكسيد الكربون المرتفع[954]. غير أن تجارب إثراء الهواء الحر بثاني أكسيد الكربون في قطاعات كبيرة بيّنت أن ثاني أكسيد الكربون المرتفع يعزز الإنتاج. ولكن، هذا التعزيز كان أقل بـ 50 في المئة من إنتاج تجارب مشابهة أجريت في بيوت زجاجية.

تختلف المحاصيل، خلال الزمن، مع تغير المناخ والطقس. فإذا أصبح المناخ أدفأ، يبدل فقدان الأرض الصالحة للزراعة بالكسب من أراض زراعية

---

(951) D. Eamus, «Responses of Field Grown Trees to CO_2 Enrichment,» *Commonwealth Forestry Review*, vol. 75 (1996), pp. 39-47.

(952) L. Eklundh and L. Olsson, «Vegetation Index Trends for the African Sahel 1982-1999,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003), pp. 1430-1433.

(953) H. Saxe, D. S. Ellsworth and J. Heath, «Tree and Forest Functioning in an Enriched CO_2 Atmosphere,» *New Phytologist*, vol. 139 (1998), pp. 395-436.

(954) S. P. Long [et al.], «Food for Thought: Lower than Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO_2 Concentrations,» *Science*, vol. 312 (2006), pp. 1918-1921.

ضمن خطوط عرض أعلى. وستنصرف ظروف المناخ المناسبة لنمو القمح بعيداً عن المناطق الاستوائية خلال الاحترار الكوني. ولن يكون هناك تأقلم وحسب، بل ستكون المحاصيل الجديدة المهندسة جينياً لظروف مستقبلية هي المعيار.

خلافاً لذلك، تقترح مجلة **شتيرن ريفيو** (*Stern Review*) من مصدر واحد أن تخصيب الكربون ضعيف وأقل مما ظن من قبل[955]. وتبيّن حواشي مجلة **شتيرن ريفيو** أنها لا تفترض تخصيباً ضعيفاً بثاني أكسيد الكربون، ولكن «لا أثر تخصيبياً البتة»[956]. وإن أساس هذا الرأي دراسة واحدة فقط[957]، نظرت إلى التخصيب بثاني أكسيد الكربون ضمن ظروف الحقل، وقالت إن «تخصيباً بهذا الغاز قد يكون بين ثلث إلى نصف ما قيل عنه في غرف النمو (Growth Chambers). أدى افتراض المجلة حصول التخصيب بثاني أكسيد الكربون إلى نبأ صحافي بالبنط العريض أنه: 250 ـ 550 مليون شخص أصبحوا في خطر[958].

إن الدببة القطبية جذابة، يهتم بها الناس اهتماماً جيداً ويستخدمونها في إعلاناتهم جلباً للمصداقية، إسأل فقط تنفيذيي التسويق في كوكا كولا وبوندابرغ روم. والحقيقة، إنها ليست جذابة لهذه الدرجة. حاول أن تعانق دباً قطبياً وانتظر النتائج.

تجلب ادعاءات أن الدببة القطبية تواجه انقراضاً بسبب النشاط البشري، قدراً عاطفياً عظيماً، إذ يمكننا أن نتخيل دبّاً جميلاً جديراً بالمعانقة يتجه بمعاناة نحو الانقراض، بينما لا نعاني كثيراً الأذى العاطفي إذا انقرضت العقارب والأفاعي والعناكب. لذا أصبح الدب القطبي أيقونة مدّعي الاحترار الكوني. ومع ذلك، فالدب القطبي عاش خلال احترار العصور الوسطى، والاحترار الروماني، والاحترار المينواني وعدد من الاحترارات السابقة، عندما كانت درجة الحرارة أعلى من اليوم. وإذا تغير توزيع الجليد، تتحرك الدببة القطبية؛ فهي ليست ملصقة في مكان واحد في كوكب ساكن مستقر.

---

(955) *Stern Review*, pp. 67-68, Box 3.4 (p. 70) and Fig.3.6 (p. 73), The Numbers Used in the A2 scenario, Used by the *Stern Review* as the Base Case, are also far Higher than in any other scenario.

(956) *Stern Review*, p. 72, footnote 43.

(957) S. P. Long [et al.], «Food for Thought: Lower than Expected Crop Yield Stimulation with Rising CO_2 Concentrations,» *Science*, vol. 312 (2006), pp. 1918-1921.

(958) *Stern Review*, p. 72.

في الماضي إدّعيَ أن موائل الدب القطبي تنكمش، وبالتالي فإن الدببة القطبية ستنقرض. وادّعى فيلم آل غور «حقيقة غير ملائمة» (*An Inconvenient Truth*) أنه، حيث توجد الآن كميات أقل من الجليد البحري، ستموت الدببة القطبية وهي تحاول أن تجد الجليد. غير أن جليد البحر قد اتسع حقاً وقتلت الرياح العالية خلال عاصفة قطبية شمالية أربعة دببة قطبية في منطقة كان جليد البحر ينتشر فيها[959]. ولقد استعملت هذه القضية كدليل من قبل آلـ غور على أن الاحترار الكوني يقتل الدببة القطبية. وأظهرت محطات قياس درجة الحرارة الساحلية في غرينلاند ابترداً وتناقصاً في متوسط درجة حرارة الصيف في قمة صفائح جليد غرينلاند بدرجتين مئويتين في عشر سنين منذ أن بدأت القياسات في عام 1987. إضافةً إلى ذلك، بيّنت المحطات الساحلية الروسية أن انتشار جليد البحر وكثافته تغيرا بشدة خلال فترات من 60 إلى 80 عاماً من الـ 125 عاماً الماضية.

كذلك أظهر لب الجليد من جزيرة بافن (Baffin Island) وترسبات لب البحر من بحر تشوكتشي (Chukchi Sea) أنه حتى لو كان ذلك احتراراً، فقد حدث عدة مرات قبل الثورة الصناعية، التي تدان بأنها مسبب الاحترار الحالي. ولقد أنهت بداية تحول مناخي في ألاسكا عام 1976 ـ 1977 اتجاه برد لعقود متعددة في منتصف القرن العشرين. وقد أعاد هذا الاحترار درجات الحرارة إلى ما كانت عليه في بداية القرن العشرين. وقالت دوائر الصيد الكندية وأقسام المحيطات: «يبدو أن الأثر الممكن للاحترار الكوني يؤدي دوراً ثانوياً في تغيرات جليد بحر القطب الشمالي».

بيّنت دائرة الصيد البحري الأميركية وخدمة الحياة البرية[960](USFWS) أن هناك 22000 دب قطبي في 20 قطاعاً في العالم، وأن مجموعتين من الدببة فقط أي ما يساوي 16.4 في المئة من المجموع، تتناقص أعدادها، وهما في مناطق انخفضت فيها درجات حرارة الهواء، مثل منطقة خليج بافن. وخلافاً لذلك،

(959) S. C. Amstrup, T. L. McDonald and G. M. Durner, «Using Satellite Radio-Telemetry Data to Delineate and Manage Wildlife Populations,» *Wildlife Society Bulletin*, vol. 32 (2004), pp. 661.679.

(960) U. S. Fisheries and Wildlife Serive, Report 6th April 2006.

تنمو مجموعتان تشكلان حوالى 13.6 في المئة من العدد الاجمالي، وهي تعيش في مناطق ارتفعت فيها درجات حرارة الهواء، بالقرب من مضيق بيرنغ وبحر تشوكتشي. أما ما يتعلق بالمجاميع العشرة الباقية فتشكل حوالى 45.4 في المئة من العدد الكلي فهي مستقرة، ويبقى وضع الباقي غير معروف. وقد وجدت الخدمة البيولوجية الوطنية الأميركية (US National Biological Service) أن موائل الدب القطبي في غرب كندا وألاسكا تزدهر لدرجة أن بعضاً منها كان في مستويات مثالية[961].

وهكذا، بناءً على الدلائل، هنالك قليل من الأسباب تدعو إلى القول إن الدببة القطبية في طريقها إلى الانقراض. فقد عاشت الدببة القطبية آلاف السنين، خلال فترات أبرد وأدفأ، وإن مجموعاتها عموماً في وضع جيد. وتعاني هذه الدببة تهديدات كثيرة، ولكن الاحترار الكوني ليس واحداً منها، والتهديدات الرئيسية هي السواح البيئيون، والبيروقراطيون والصيادون.

تعطى حوارات مشابهة لبني البشر مقرونة بادعاءات أن درجات الحرارة الأعلى ستزيد معدل الهلاكات. وهذا خلاف للتاريخ والملاحظات الحديثة، فعلى سبيل المثال، يبيّن معدل الهلاكات اليومي للثلاثين عاماً الأخيرة في جنوب غرب ألمانيا أن هجمات البرد تؤدي إلى موت متزايد كما تفعل ذلك موجات الحرارة المرتفعة[962]، وأن أولئك الذين عانوا ضغط الحرارة كانوا كباراً في السن أو مرضى، في حين تأقلم الآخرون مع تغيرات درجة الحرارة بسرعة أكثر.

الاحترار الكوني والأمراض المعدية

هناك توقعات تقول إن الاحترار الكوني الحالي سينتج من ظهور للملاريا وغيرها من الأمراض الاستوائية وانتقالها إلى أوروبا وشمال أميركا[963]. بيّنت هذه أن الإسقاطات على دراسات علمية لا تأخذ بالحسبان التغيرات في

(961) Amstrup, McDonald and Durner, «Using Satellite Radio-Telemetry Data to Delineate and Manage Wildlife Populations».

(962) G. Laschewski and G. Jendritzky, «Effects of the Thermal Environment on Human Health: An Investigation of 30 Years of Daily Mortality from SW Germany,» *Climate Research*, vol. 21 (2002), pp. 91-103.

(963) S. I. Hay [et al.], «Climate Change and the Resurgence of Malaria in the East African Highlands,» *Nature*, vol. 415 (2002), pp. 905-909.

التكنولوجيا والتزايد في سعات التأقلم كلما أصبحت البلدان المتطورة أغنى[964]. وما إن يصل دخل الفرد 3100 دولار أميركي، حتى تكون الملاريا قد اختفت عملياً[965]. والمعروف أن الملاريا مرض شائع في المناخات الباردة والمناخات الدافئة على حدٍّ سواء، وإن تقنيات علاج الملاريا متوفرة منذ عقود. الملاريا مرض فقر وليس مرض تغير مناخي، ولكنها ولأكثر من عقد، احتلت مكاناً بارزاً في التخمينات المحذرة المبالغ بها والمتعلقة بتغير المناخ. وتتوقع النماذج الرياضية واسعة الانتشار ازدياد التوزع الجغرافي للملاريا[966][967]، على الرغم من الجهود المتخذة لوضع القضية ضمن الأطر المنظورة[968].

كانت الملاريا، المعروفة أيضاً بداء البرداء (Ague)، والملاريا الثلثية (Tertian) أو الربعية (Quartan) معروفة جيداً في أوروبا خلال الـ 1000 عام الماضية. وخلال فترة احترار العصور الوسطى، سجلت الكتابات الأوروبية من روسيا المسيحية إلى إسبانيا المسلمة أمراضاً شبيهة بالملاريا. ويصف دانتي (Dante) في **الجحيم** (*The Inferno*) (1265 ـ 1321) أعراض الملاريا، كما فعل جيفري تشوسر (Geoffrey Chaucer) في **حكاية الراهبة** (*The Nun's Tale*). ويذكر وليام شكسبير (1564 ـ 1616) البرداء في ثماني مسرحيات. وكانت مستنقعات إنجليزية كثيرة، في القرن السادس عشر، رديئة السمعة لكثرة سكانها المصابين بالبرداء، وبقيت هكذا حتى القرن التاسع عشر[969]. إن الملاريا وآثارها الديمغرافية والوبائية والاجتماعية[970] في إنجلترا في العصر الجليدي الصغير

---

(964) I. M. Goklany, «Relative Contributions of Global Warming to Various Climate Sensitive Risks, and their Implications for Adaptation and Migration,» *Energy and Environment*, vol. 14 (2003), pp. 797-822.

(965) R. S. J. Tol and H. Dowlatabadi, «Vector Borne Diseases, Development and Climate Change,» *Environmental Science and Policy*, vol. 8 (2001), pp. 572-578.

(966) D. J. Rogers and S. E. Randolph, «The Global Spread of Malaria in a Future, Warmer World,» *Science*, vol. 289 (2000), pp. 1763-1766.

(967) F. C. Tanser, B. Sharp and D. Le Sueur, «Potential Effect of Climate Change on Malaria Transmission in Africa,» *The Lancet*, vol. 362 (2003), pp. 1792-1798.

(968) P. Reiter [et al.], «Global Warming and Malaria: A Call for Accuracy,» *The Lancet Infectious Diseases,* no. 6 (2004), pp. 1-11.

(969) P. Reiter, «From Shakespeare to Defoe: Malaria in England in the Little Ice Age,» *Emerging Infectious Diseases*, vol. 6 (2000), pp. 1-11.

(970) Mary J. Dobson, *Contours of Death and Ddisease in Early Modern England* (New York: Cambridge University Press, 1997).

متعلقة بالمياه المجة (Brakish Water) الراكدة حيث يفقس بعوض الملاريا (وبخاصة أ. تروبارفوس (*A. atroparvus*))[971].

وكان معروفاً جيداً في القرن السابع عشر حول نهر التايمز من اتجاه إيستورين، إيواد وميدوي أن ظروف مصبات الأنهار والمستنقعات أدت إلى تزايد هذا المرض صعوداً إلى بورنهام. وقد ظن آنذاك أن البرداء استمدت من بخار مُؤذٍ صادر عن المستنقعات. والبيانات الديمغرافية المتوفرة مشابهة إلى بيانات سكان مستوطنات الملاريا في المناطق الاستوائية اليوم.

على الرغم من أن وباء الملاريا كان مستوطناً في إنجلترا في القرن السابع عشر، «إلا أن فصول الصيف لم تكن جميعها باردة»، هكذا وصف ساموبل ببيز (Samuel Pepys) (1633 ـ 1703)، المريض الذي كان يعاني الملاريا، فصول الصيف الجافة والحارة للسنوات 1661 و1665 و1666. وربما عزز الجفاف نقل وانتشار الملاريا. تنشأ ملاريا الجفاف (Drought Malaris) عندما ينخفض مستوى الأنهار والبرك وتتحول إلى مستنقعات صغيرة وبريكات، حيث يفضل بعوض الملاريا (Anopheline Mosquitos) أن يفقس. وهنالك علاقة بين في فصول الصيف الجافة الحارة في العامين 1660 و1810 ومعدلات الدفن الموسمية في مير برادول ـ جوستا (Bradwell-juxta-Mare)، وهي أبرشية قريبة من مستنقع في إسكس[972]. كانت هناك علاقة بين درجات حرارة الصيف المرتفعة والملاريا في كنت[973]، أيضاً، في منتصف القرن التاسع عشر نحو نهاية العصر الجليدي الصغير. ويذكر أن دانيال دوفو (Daniel Defoe) (1660 ـ 1731) كان كثير الترحال في جنوب إنجلترا من 1685 إلى 1690 وقد وصف الملاريا في مستنقعات دنجي في إسكس (70 كيلومتراً شرق لندن) التي بقيت رديئة السمعة حتى نهاية القرن الثامن عشر[974].

لم تكن الملاريا في العصر الجليدي الصغير محدودة في إنجلترا. وتم

---

(971) M. J. Dobson, «Malaria in England: A Geographical and Historical Perspective,» *Parasitologia*, vol. 36 (1994), pp. 35-60.

(972) M. J. Dobson, «Marsh Fever»- The Geography of Malaria in England,» *Journal of Historical Geography*, vol. 6 (1980), pp. 357-389.

(973) A. Macdonald, «On the Relation of Temperature to Malaria in England,» *Journal of the Royal Army Medical Corps*, vol. 35 (1920), pp. 99-119.

(974) D. Defoe, *A Tour Through the Whole Island of Great Britain* (London: Penguin, 1986).

تسجيل الملاريا بعيداً حتى إنفرنس (Inverness) (57 20N)[975]، ويمكن أن تكون الحدود الشمالية في جنوب السويد وفنلندا واسكوتلندا وخليج بوثنيا بالقرب من دائرة القطب الشمالي[976]، ومعظم الولايات المتحدة الأميركية[977]، وبعض أجزاء كندا[978] متعلقة بخط تحارر (Isotherm) شهر تموز/ يوليو[979]، الذي تبلغ حرارته 15 درجة مئوية. وبعد ثمانينيات القرن التاسع عشر، تضاءل انتشارها وأصبحت الملاريا نادرة نسبياً باستثناء فترة قصيرة بعد الحرب العالمية الأولى. وحدث التراجع خلال الاحترار في نهاية العصر الجليدي الصغير. وقد تقلص موئل البعوض بإصلاح الأرض ومصارف المياه الكثيفة، ومحاصيل الجذور الشتوية مثل اللفت الذي سمح لأعداد أكبر من الحيوانات أن تلهي البعوض (أ. تروبارفوس) عن مص دم الإنسان، وللاستعمال المتزايد للمكننة في الزراعة، وبالتالي تخفيض أعداد البشر المعرّضين للبعوض والطفيليات. وكانت المنازل أكثر حذراً من البعوض، كما خفض سعر الدواء الأفضل، كذلك سعر الكينين (مادة شبه قلوية شديدة المرارة تعالج بها الملاريا) عدد الإصابات بالملاريا. كما، حدث انخفاض مشابه في البلاد المزدهرة في أوروبا مثل النرويج، والسويد، والدانمارك، وألمانيا، وهولندا وبلجيكا وإيطاليا. ونقيضاً لذلك، كانت الملاريا لاتزال سائدة في البلاد الفقيرة من أوروبا الشرقية، وساحل البحر الأسود والمتوسط الشرقي.

إن الملاريا غير مستقرة في مناطق فيها هطول طبيعي كاف للأمطار، فمعظم الأوبئة تنتشر خلال الجفاف. ولقد قتل وباء 1934 ـ 1935 في ما يسمى الآن سريلانكا 100000 شخص، الذي ضرب بشدة جنوب غرب الجزيرة حيث

---

(975) P. F. Ruseell, «World-Wide Malaria Distribution, Prevalence and Control,» *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene,* vol. 5 (1956), pp. 937-965.

(976) T. Ekblom, «Suédoises de l'Anopheles manulipennis et leur rôle épidémiologique,» *Bulletin de société pathologie exotique*, vol. 31 (1938), pp. 647-655.

(977) E. C. Faust, «The Distribution of Malaria in North America, Mexico, Central America and the West Indes,» in: *A Symposium on Human Malaria with Special Reference to North America and the Caribbean Region* (Washington, DC: American Association for the Advancement of Science, 1941), pp. 8-18.

(978) G. H. Fish, «Malaria and the Anopheles Mosquito in Canada,» *Canadian Medical Association Journal* (December 1931), pp. 679-683.

(979) J. A. Patz [et al.], «Global Climate Change and Emerging Infectious Diseases,» *Journal of the American Medical Association*, vol. 275 (1996), pp. 217-223.

كان هطول الأمطار أقل من 250 سنتيمتراً في العام، وإن الملاريا مستوطنة ولكنها لا تتكرر بصورة نظامية. يتكاثر البعوض أ. كوليسيفاشيس .A) (culicifacies حول ضفاف الأنهار، ويكون نادراً في السنوات العادية. وكان هناك هطول للمطر أكثر من المتوسط بين 1928 و1933 مع انسياب عالٍ للنهر. وبعد إخفاق موسمين من الرياح الموسمية متتاليين، أنتجت الأنهار الجافة أعداداً كبيرة من أ. كوليسيفيتش نتج منه وباء ملاريا. وفي المناطق الأكثر جفافاً من الجزيرة حيث كان أ. كوليسيفيتش سائداً، ولكن الانتقال كان أكثر استقراراً، وقد حمت المناعة السكان من التخريبات الأسوأ للوباء[980].

جرت هناك محاولات بعد الحرب العالمية الثانية للتخلص من الملاريا في كل أوروبا[981] والولايات المتحدة الأميركية. وأعلنت منظمة الصحة العالمية أن أوروبا خالية من الملاريا. وبحلول عام 1977، كان 83 في المئة من سكان العالم يعيشون في مناطق اجتثت منها الملاريا، أو كانت نشاطات التحكم فيها تتقدم. وقد عكس هذا الاتجاه، بسبب أولي لتراجع استعمال الـ (DDT)، وازدياد عدد السكان، ومسح الغابات، والري، والتغيرات في علم البيئة، وتحرك التعداد السكاني، والتمدن، وتدهور أنظمة الصحة العامة، ومقاومة مبيدات الحشرات، والآثار السلبية للحرب والكوارث الطبيعية. وعليه، يُنقَض الاقتراح القائل إن الاحترار الكوني قد يؤدي إلى الملاريا المتصاعدة إلى ارتفاعات جديدة[982] من خلال سجلات انتشارها ابتداءً من 1880 وإلى 1945[983][984][985]. وربما كانت الزيادة في حدوث الملاريا وغيرها من

---

(980) C. Dunn, *Malaria in Ceylon: An Enquiry into its Causes* (London: Bailliere, Tindall and Cox, 1937).

(981) P. F. Russell, *Man's Mastery of Malaria* (New York: Oxford University Press, 1955).

(982) A. J. McMichael, J. Patz, and R. S. Kovats, «Impacts of Global Environmental Change on Future Health and Health Care in Tropical Countries,» *British Medical Bulletin*, vol. 54 (1998), pp. 475-488.

(983) L. W. Hackett, «The Malaria of the Andean Region of South America,» *Revisto del Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales*, vol. 6 (1945), pp. 239-252.

(984) P. Reiter, «Global Warming and Vector-Borne Disease in Temperature Regions and at High Sltitude,» *Lancet*, vol. 351 (1998), pp. 839-840.

(985) J. Mouchet [et al.], «Evolution of Malaria in Africa for the Past 40 Years: Impact of Climatic and Human Factors,» *Journal of the American Mosquito Control Association,* vol. 14 (1998), pp. 121-130.

الأمراض يتعلق بالازدياد الأسي في السفر الجوي الدولي[986]. وكانت الملاريا تتزايد في بلغاريا ورومانيا، ومولدوفا، وإيطاليا، وكورسيكا، وكازاخستان، وكرغستان، وتركمانستان، وأوزبكستان[987]، وغيرها من بقاع المعمورة. وربما كان من الأجدى أن ينصب الاهتمام على الملاريا وانتقال الأمراض الأخرى بدلاً من حصر الاهتمام بالاحترار الكوني.

هناك ادعاءات استثنائية تقول إن ازدياد الـ CO_2 الجوي إلى 425 ppmv، سيسبب مشكلات في صحة الإنسان[988]، مثل الحماض (Acidosis)، والقلق، وارتفاع ضغط الدم. وقد بنيت هذه الادعاءات على دراسة أجراها أسطول الأميركي في غواصات نووية كان فيها ثاني أكسيد الكربون أكثر من 15 مرة من مقدار مستواه في الغلاف الجوي الحالي[989]. واستطردت الدراسة إلى أن الأداء الضعيف لبعض الرياضيين في الألعاب العالمية عام 2003 والوفيات في فرنسا عام 2003 كانت بسبب تزايد ثاني أكسيد الكربون في الجو[990]. وتقول الاقتراحات إنه في غضون خمسين عاماً، سيؤدي ثاني أكسيد الكربون المتزايد في الجو إلى مشكلات صحية منتشرة عالمياً. والذي لم يذكر هو أن قياسات ثاني أكسيد الكربون في منتصف القرن التاسع عشر بيّنت أن الـ CO_2 كان أعلى من 425[991]، ومع ذلك لم تكن هناك مشكلات صحية منتشرة في العالم في ذلك الوقت بسبب تركيز CO_2 الجوي العالي.

التصحر

يبيّن السجل الجيولوجي فترات طويلة من التصحر. تتصف هذه الفترات

---

(986) J. Zuletta, «Malaria Eradication in Europe,» *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 76 (1973), pp. 279-282.

(987) G. Sabatinelli, «Malaria Situation and Implementation of the Gobal Malaria Control Strategy in the WHO European Region, «WHO,» *Expert Committee on Malaria* (1998) MASL/EC20/98.9.

(988) D. S. W. Robertson, «The Rise in Atmospheric Concentration of Carbon Dioxide and the Effects on Human Health,» *Medical Hypotheses*, vol. 56 (2001), pp. 513-519.

(989) R. J. W. Lambert, «The Nuclear Submarine Environment,» *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, vol. 65 (1972), pp. 795-800.

(990) D. S. Robertson, «Health Effects of Increase in Concentration of Carbon Dioxide in the Atmosphere,» *Current Science,* vol. 90 (2006), pp. 1607-1609.

(991) E. G. Beck, «180 Years of Atmospheric CO_2 Gas Analysis by Chemical Methods,» *Energy and Environment*, vol. 18 (2007), pp. 259-282.

بكثبان من الرمل الأحمر المتصلب وأسرّة الملح (Salt Beds). فعلى سبيل المثال، تشكلت ترسبات الملح الكبيرة في شمال إنجلترا وألمانيا وبولندا، وسيبيريا خلال زمن[992] كان فيه النصف الجنوبي للكرة الأرضية (والهند) مغطى بالجليد. وقد عرف ذلك منذ قرون. اعتقد ألفرد واغنر (Alfred Wegener) بوجود اندفاع قاري عام 191[993]، غير أنه احتاج إلى مزيد من البيانات لإثبات ذلك فوضع خريطة للموقع العالمي للكائنات البرمية (280 ـ 251.4 مليون عام) التي لم تتمكن من السباحة أو الطيران (على سبيل المثال، فلورا غلوسوبتيريس Glossopteris flora)، واختار الكائنات البرمية لأنه كان عالماً بالجليد، وأظهرت الأدبيات وجود صخور برمية جليدية في جنوب أفريقيا، والهند، وأستراليا، وجنوب أميركا. ثم اكتشفت في ما بعد في القطب الجنوبي بعد زمن واغنر. وكان هذا مربكاً لواغنر لأن هذه الأماكن لم تكن أراضي مجلدة مثل غرينلاند أو القطب الجنوبي. وبوضع الخطوط في الصخور التي مشى عليها الجليد، وضع واغنر نموذجاً شعاعياً يبيّن كما لو أنه جمع القارات مع بعضها البعض من جديد. وقد استنتج واغنر استنتاجاً صحيحاً أنه لا بد من وجود أرض قطبية كبيرة تعرضت للتجلد. بعدئذٍ، رسم واغنر صخور الرمل الحمر (على سبيل المثال، كثبان رمل الصحراء) والتبخرات (على سبيل المثال، الملح المتشكل من التبخر) ووجد أن هذه الترسبات، المشابهة لمناطق متوسطة البعد عن خط الاستواء، كانت شائعة في الصخور البرمية في سيبيريا، وبولندا، وشمال ألمانيا، وفرنسا، وشمال إنجلترا. وليس أي من هذه المناطق تعد الآن من مناطق خط عرض أوسطي.

وضع واغنر بعد ذاك توزيع الحيود البحرية المرجانية البرمية التي يمكن أن تكون قد تشكلت فقط في مناطق استوائية، وبيّن أن هذه ليست في مناطق مدارية بعد الآن، واستنتج أن القارات تتحرك. كما اقترح أن قارة كبيرة كانت هناك اسمها بانجيا (Pangea)[994] تجزأت إلى قارتين كبيرتين، لاورازيا وغوندوانا. كما لاحظ واغنر أن تغييراً مفاجئاً حدث في العصر الترياسي الأخير (قبل 217 ـ 204 مليون عام)، اختفت فيه نباتات مثل غلوسوبتيريس

(992) الفترة البرمية، قبل 280 إلى 251.4 مليون سنة.

(993) A. Wegener, «Die Entstehung der Kontinente,» *Geologische Rundsschau*, vol. 3 (1912), pp. 276-292.

(994) من اليونانية، وتعني جميع الأراضي.

(Glossopteris) مع توفر معدل سريع لنشوء نباتات جديدة. ونعرف الآن أنه قد كان في ذلك الزمن انقراض جماعي، وأثر جماعي للمناخ في شمال أميركا وروسيا وانقسام لاورازيا لتشكيل المحيط الأطلسي، وحسب واغنر فإن القارات، قد شقت عبر قشرة محيط البازلت مثل قارب أو انزلقت خلال السطح البيني بين قشرة محيط البازلت وقشرة القارة.

لقد دحضت هذه الأفكار بسرعة، وأصبحت نظرية واغنر وبياناته غير مجدية. وبعد حوالى خمسين عاماً، استعمل فهم أوسع لمغنطيسية الأرض والزلازل والبراكين وتوزيع الأحفوري، لبناء نظرية الصفائح التكتونية، وقد بنيت بناءً على عمل واغنر وأظهرت أن القارات تنجرف. مات واغنر على صفيحة جليد غرينلاند عام 1930، ولم ير أن نظريته في انجراف القارات قد صودق عليها، ولو كان بآلية أخرى.

إن القول إن الاحترار الكوني سيؤدي إلى تصحر متزايد يتجاهل علوماً سابقة متفقاً عليها. تبين أن التصحر يحدث خلال التجلد، ويتجاهل تاريخ تطور الأفكار العلمية. ويمكن لتغير المناخ الحديث أن يؤدي إلى تصحر منتشر ويتعذر إلغاؤه، أو هكذا قيل لنا[995][996][997]. وهذا مخالف لكل ما نعرفه عن تاريخ الكوكب. وهنالك دلائل توضح أن أفريقيا لا يحدث فيها تصحر شديد[998][999][1000]. إلا أن دلائل أحدث تبين خلاف ذلك[1001].

---

(995) H. E. Dregne, *Desertification of Arid Lands* (New York: Harwood Academic Publishers, 1983).

(996) H. F. Lamprey, «Report on Desert Encroachment Reconnaissance in Northern Sudan: 21 October to 10 November 1975,» *Desertification Control Bulletin*, vol. 17 (1988), pp. 1-7.

(997) N. Middleton, D. Thomas, and United Nations Environment Program, *World Atlas of Desertification* (London: Arnold, 1997).

(998) L. Eklundh and L. Olsson, «Vegetation Index Trends for the African Sahel 1982-1999,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003): 10.1029/2002GL016772.

(999) A. Anyamba, and C. J. Tucker, «Analysis of Vegetation Dynamics Using NOAA-AVHRR NDVI Data from 1981-2003,» *Journal of Arid Environments,* vol. 63 (2005), pp. 596-614.

(1000) L. Olsson, L. Eklundh, and J. Ardo, «The Recent Greening of the Sahel-Trends, Patterns and Potential Causes,» *Journal of Arid Environments*, vol. 63 (2005), pp. 556-566.

(1001) S. M. Herrmann, A. Anyamba and C. J. Tucker, «Recent Trends in Vegetation Dynamics in the African Sahel and their Relationship to Climate,» *Global Environmental Change,* vol. 15 (2005), pp. 394-404.

استعملت هذه الدراسات خضار النباتات وتساقط الأمطار في الساحل الأفريقي المستمد من قياسات الأقمار الاصطناعية، واستنتجت أنه يبدو أن هطول الأمطار هو العامل المسبب الرئيسي في ديناميكيات خضار النباتات، وتدل اتجاهات طويلة الأمد على أنه قد يكون هناك عامل مسبب آخر أضعف. وقد يكون هذا العامل الضعيف ازدياد الـ CO_2 الجوي. وربما كان كلٌّ من الدفء وثاني أكسيد الكربون المتزايدين جيّدين للحياة على الأرض، ولا يشكلان التهديد الأكبر الذي يواجه الكوكب اليوم. وتقول تقارير الأخبار إن الصحارى تتناقص في الصين بمقدار 7500 كيلومتر مربع في العام[1002]. وقالت IPCC في ملخص لصانعي القرارات (Summary for Policymakers) عام 2001: «سيكون الجفاف القاري الصيفي المتزايد والخطر المتعلق بالجفاف في الأغلب فوق معظم الداخل القاري متوسط البعد عن خط الاستواء».

إن هذه «الخلاصة» للعامة. ولكن العلم يقول قصةً مختلفة. هنالك عدد من الأبحاث تقول بوجود جفاف متزايد في أواسط أميركا مع الاحترار الكوني، ويبيّن آخرون أن في وسط أميركا في القرن العشرين[1003]: «أصبح الجفاف في معظمه أقصر، وأقل تكراراً، وأقل شدةً، ويشمل قسماً أصغر من البلاد».

بيّنت مجموعتان بيانيتان مختلفتين مستمدتان من الراديومتر (مقياس كثافة الطاقة الإشعاعية) في أقمار صناعية للإدارة الأميركية الوطنية المحيطية والجوية، أنه بين عامي 1982 و1999، كان هناك تزايد عالمي في التركيب الضوئي[1004]. وهذا على الرغم من الزحرجة Deforestation (تقلص الغابات) المتزايدة في دول العالم الثالث[1005][1006]، والحواضر المتمدنة. وإن النباتات ولبّها المستمد من عملية التركيب الضوئي هما مصدر الغذاء لمعظم المحيط

(1002) < http://upi.com/NewsTrack/view.php?StoryID = 200060602-103610-9168r > .

(1003) K. Andreadis and D. Lettenmaier, «Trends in 20th Century Drought over Continental United States,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L10403, doi: 10.1029/2006GL025711.

(1004) S. S. Young and R. Harris, «Changing Patterns of Global-Scale Vegetation Photosynthesis, 1982-1999,» *International Journal of Remote Sensing*, vol. 26 (2005L), pp. 4537-4563.

(1005) D. Skole and C. J. Tucker, «Tropical Deforestation and Habitat Fragmentation in the Amazon: Satellite Data from 1978 to 1988,» *Science*, vol. 260 (1993), pp. 1905-1909.

(1006) M. K. Steininger [et al.], «Clearance and Fragmentation of Tropical Deciduoud Forest in the Tierras Bajas, Santa Cruz, Bolivia,» *Conservation Biology*, vol. 15 (2001), pp. 856-866.

الحيوي (Biosphere). وقد يكون سبب عملية التركيب الضوئي المتزايدة هذه سببت الاحترار الكوني الخفيف خلال هذه الفترة، أو تزايد الـ CO_2، أو بسبب تزايد هطول الأمطار[1007][1008]. وهناك دراسات[1009] تدل على «توقع نظري» بأن احتراراً كونياً سينتج في تزايدات بارزة من هطول الأمطار العالمي.

لقد دمج مشروع مناخ تساقط الأمطار العالمي مع قياسات فضائية وأرضية لهطول الأمطار لإنتاج سجل يبدأ من عام 1979[1010][1011]. ويبيّن تحليل بيانات سقوط الأمطار العالمي أن تغيرات التساقطات متعلقة بـ «إل نينو» وليس لديها اتجاه[1012]. ويتعلق هطول الأمطار الاستوائي المتزايد فوق المحيط الهادي والمحيط الهندي بالاحترار المحلي للبحر، ويوازن هذا بالتساقط المتناقص في مناطق أخرى، وبالتالي يكون المتوسط العالمي قريباً من الصفر.

إن أحدى حملات الذعر الكبيرة هي أن الاحترار الكوني سريع جداً، حتى أن النباتات والحيوانات قد لا يكون لديها الوقت الكافي للهجرة، وبالتالي سيكون هناك انقراض غير متوقع، وإن التزايد بـ 0.7 درجة مئوية في المئة عام الأخيرة بطيء جداً ـ ولكن التغير من درایاس الأصغر إلى أزمنة أدفأ أسرع بمئة مرة. ومن الممكن ألاّ تحتبس الأرض بالسرعة التي تم توقعها، وأن الـ CO_2 المتزايد سيسمح للنباتات بالازدهار في درجات حرارة أدفأ. وقد يفرض تغير المناخ بسرعة اختياراً طبيعياً، وبالتالي يسمح للحياة بالتأقلم على نحو

R. C. Myneni [et al.], «Increased Plant Growth in the Northern High Latitudes from 1981 (1007) to 1991,» *Nature*, vol. 386 (1997), pp. 698-702.

K. Ichii, A. Kawabata and Y. Yamaguchi, «Global Correlation Analysis for NDVI and (1008) Climate Variables & NDVI Trends, 1982-1990,» *International Journal of Remote Sensing*, vol. 23 (2002), pp. 3873-3878.

T. G. Huntington, «Evidence for Intensification of the Global Water Cycle: Review and (1009) Synthesis,» *Journal of Hydrology*, vol. 319 (2006), pp. 83-95.

G. J. Huffman [et al.], «The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Combined (1010) Data Set,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78 (1997), pp. 5-20.

R. F. Adler [et al.], «The Version-2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) (1011) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present),» *Journal of Hydrometeorology,* vol. 4 (2003), pp. 1147-1167.

T. M. Smith, X. Yin and A. Gruber, «Variations in Annual Global Precipitation (1979- (1012) 2004), Based on the Global Precipitation Climate Project 2.5 Analysis,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006): 10.1029/2005GL025393.

أفضل[1013]. ويمكن لاختيار طبيعي كهذا أن يحدث خلال بضعة عقود[1014][1015]. وخلال ذروة الأيوسين المبكر المناخية (52 ـ 50 مليون عام)، كان فيها محتوى الـ CO_2 الجوي ربما 1125 ppmv[1016]، أي حوالى ثلاثة أضعاف ما هو عليه الآن. وازداد التآكل والتجوية الكيميائية بسبب التفاعل المعزز بين الـ CO_2 الجوي والصخور[1017]. وكان هناك توسع سريع في النباتات، وكانت هناك غابات ضخمة من القطب إلى القطب، ونشأت عائلات جديدة من النبات لتيسطر على الـ CO_2 الفائض في الغلاف الجوي. وبهذه العمليات، ينظف الـ CO_2 الإضافي بسرعة من الهواء، وسيحبس في النهاية داخل الصخور.

إن دراسة للعالم الحديث ليست الطريقة الأفضل لفهم المناخ الحديث. فالمناخ الحديث هو شكل واحد فقط من الفيلم الذي مدته 4567 مليون عام من مناخات الأرض المتغيرة.

يمكن لبركان واحد أن يدمّر يومك

هناك نوعان رئيسيان من البراكين، فتلك التي في منتصف شقوق المحيط لا ترى وهي الأكثر عدداً. وإن حوالى 85 في المئة من براكين العالم غير مرئية، ولا مقيسة، وتنفجر بهدوء في عمق المحيط ويتم تجاهلها عادة في نماذج المناخ. وتحدث معظم الانفجارات البركانية في عمق قاع المحيط على امتداد 64000 كيلومتر من سلسلة مرتفعات المحيط لتشكل القليل من الخطر في طريق الأخطار البركانية. وهذه المرتفعات البركانية النشيطة في منتصف المحيط تلعب

(1013) S. J. Franks, S. Sim and A. E.Weis, «Rapid Evolution of Flowering Time by an Annual Plant in Rsponse to a Climate Fluctuation,» *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, vol. 104 (2007), pp. 1278-1282.

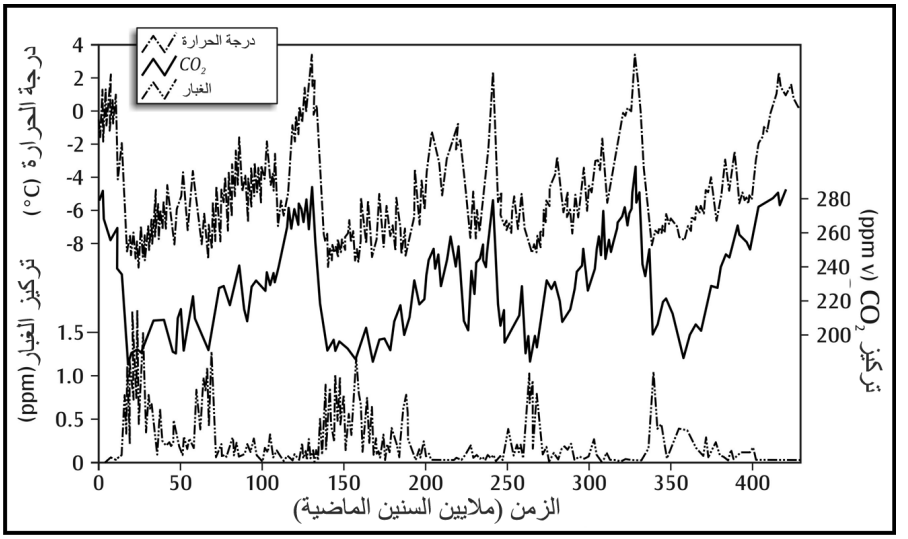
(1014) M. T. Kinnison and A. P. Hendry, «The Pace of Modern Life II: From Rrates of Contemporary Microevolution to Pattern and Process,» *Genetica*, vol. 112 (2001), pp. 145-164.

(1015) D. N. Reznick and C. K. Ghalambor, «The Population Ecology of Contemporary Adaptations: What Empirical Studies Reveal about the Conditions that Promote Adaptive Evolution,» *Genetica*, vol. 112 (2001), pp. 183-198.

(1016) T. K. Lowenstein and R. V. Demicco, «Elevated Eocene Atmospheric CO_2 and its Subsequent Decline,» *Science*, vol. 313 (2007), p. 1928.

(1017) M. E Smith, A. R. Carroll and E. R. Mueller, «Elevated Weathering Rates in the Rocky Mountains during the Early Eocene Climatic Optimum,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 370-374.

لعبتها بينما يتخطاها بقية العالم بدون ملاحظة. وتتصف هذه البراكين بانسيابات الصهارة البازلتية وانبعاثات هائلة للغازات البركانية الرئيسية (بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، والميثان، وكبريت الهيدروجين، وثاني أكسيد الكبريت، والهيدروجين والنيتروجين). ولا يصدر الغاز الثاني الأكثر وفرة في الغلاف الجوي، الأكسجين، من البراكين. ويستمد الأكسجين في الغلاف الجوي من الحياة بتكوين الأكسيجين من ثاني أكسيد الكربون. وقد تشكلت مناطق بحرية بازلتية رئيسية، ولاتزال تتشكل في أحواض المحيط. وإن هذه البراكين البازلتية غير متفجرة بطبيعتها.



الشكل 19: سجل لب الجليد خلال الـ 440000 عام تظهر درجة الحرارة الدورية وتغيرات الـ CO_2. خلال أزمنة التجلد، يزداد محتوى الغبار في الجليد القطبي مظهراً أن التصحر يحصل خلال أزمنة باردة، وليس خلال أزمنة دافئة.

تحدث البراكين البازلتية أيضاً في مناطق قارية. وتتراوح هذه البراكين من البسيطة، من حيث طبيعة مقذوفاتها التي تبدو على هيئة حمم مخروطية صغيرة تصاحب انسياب الصهارة الكثيفة، إلى براكين عظيمة. وتطلق براكين البازلت الكبرى كميات كبيرة من الصهارة والغازات خلال فترة قصيرة. وهناك أمثلة كثيرة في حوض تالناخ (روسيا) قبل 251 مليون عام وأفخاخ ديكا (الهند) قبل

65 مليون عام. ويحدث البركان البازلتي حيث تسحب قشرة الأرض وتفكك، أو حيث ترتفع مواد ساخنة أو منصهرة من تحت القشرة.

إن البراكين التحت بحرية مفهومة فهماً سيئاً بسبب نقص الملاحظة والقياس المتواصلين، فهي تصدر كميات كبيرة من الغازات الحارة. وإن التبادل في الحرارة بين مياه المحيطات وصخور البراكين البحرية مركز في مرتفعات منتصف المحيط وجوانب المرتفعات حيث يصدر دوران مياه البحر حرارة موائع في المحيط[1018]. يؤثر هذا في الحرارة الكونية والمجموعات الجيوكيميائية للمحيطات. كما تعمل مرتفعات البحار البعيدة عن مرتفعات منتصف المحيط كطرق لتبادل الحرارة[1019]. ويتحلل ثاني أكسيد الكربون الآتي من عشرات آلاف المرتفعات الساخنة المتعلقة بالبراكين البازلتية البحرية هذه في مياه المحيط العميقة والباردة وعالية الضغط التي لا تظهر على السطح.

إن المياه في أسفل المحيطات غير مشبعة جيداً بالـ CO_2 المفكك، وبالتالي فإن كميات كبيرة من الـ CO_2 تنحل وتذوب. ويمكن لانطلاقة واحدة حارة أن تصدر كمية من ثاني أكسيد الكربون أكثر مما يصدره مصنع لتوليد الكهرباء من الفحم بقدرة من 1000 mW، غير أنها لا ترى ولا تقاس. كما أن غاز البراكين البحري لا يظهر في حسابات المصادر والمقابر (Sources and Sinks) بالنسبة إلى CO_2 الجوي في نماذج مناخ IPCC.

تؤثر التغيرات في معدل انتشار قعر البحر في معدل النشاط البركاني الأرضي والبحري. وعندما ينفطر قعر المحيط إلى أجزاءً، ينتج عن تخفيف الضغط العميق في الأرض انصهار جزئي، وتصعد الصهارة إلى منتصف ارتفاع المحيط، وقد تتصلب تحت قعر البحر أو تبصق إلى الخارج على شكل صهارة بحرية. إن غازات مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون تزيد من عملية الصهر. وتدفع الغازات المنصهرة بالصهارة لتطفو وتظهر من خلال الشقوق الحيدية وعلى امتدادها.

(1018) M. Mottl and G. G. Wheat, «Hydro Thermal Circulation through Mid-Ocean Ridge Flanks: Fluxes of Heat and Magmatism,» *Geochemica et Cosmochimica Acta*, vol. 58 (1994), pp. 2225-2237.

(1019) H. Villinger, «Heat Flow at Mid-Ocean Ridges and Ridge Flanks: Methods and Challenges,» *Geophysical Research Abstracts*, vol. 9 (2007): 07710.

تبرد مياه البحر الدائرة هذه الصهارة فتصبح ساخنة هي بدورها. وتنضح الصخور البركانية الجديدة معادنها مضيفة حرارة وغازات إلى المحيطات ومرسبة خامات الكبريتيك من الينابيع الحارة في الشق الحيدي المتوسط لمنتصف مرتفعات المحيط[1020]. ويمكن أن تصل حرارة هذه الينابيع الحارة من 80 إلى 420 درجة مئوية، وتكون في عمق مياه تصل إلى كيلومترين أو أربعة[1021]، ووجد أكثر من 200 منها منذ الاكتشاف الأول لهذه الترسبات الثمينة الجديدة في قعر البحر عام 1979.

لما كانت حرارة المحيط تزيد بـ 22 مرة على حرارة الغلاف الجوي، فهي إذن تساهم بشدة في تحريك المناخ والبراكين البحرية التي لا ترى، ويمكن أن يكون لها أثر عميق في حرارة سطح الأرض[1022]. وبسبب انعدام القياس، ليس هناك متوسط لمعدل انتشار حرارة البراكين بما يمكن استعماله لتوقع المناخ المعاصر. وعلى الرغم من أن متوسط الحرارة الأرضية (Geothermal) الموزعة فوق الأرض أقل بكثير من الحرارة الشمسية الداخلة، إلا أن انسياب الحرارة الأرضية مركز أساساً في نقاط حول حزام مرتفعات منتصف المحيط وعلى أقواس الجزر البركانية. ويمكن لتركيز الحرارة هذا، وبخاصة في مناطق حزام المحيط، أن يؤثر في توازن حرارة سطح الأرض، لأن حرارة سطح الكوكب تكمن في المحيطات، وليس في الغلاف الجوي[1023]. وإذا ازداد انشقاق (انفطار) قاع البحر قليلاً، سيزداد معدل البركانية البحرية. ولا يعني معدل انفطار بطيء، كما في حالة غاكال في محيط القطب الشمالي (Gakkal Ridge in Arctica)، بالضرورة عدم وجود براكين أو نشاط جيوحراري[1024]. وليس هناك معدل ثابت للبراكين، وهناك فترات طويلة من السكون وفترات من الانفجارات المتكررة الكبيرة.

(1020) H. Elderfield and A. Schultz, «Mid-Ocean Ridge Hydrothermal Fluxes and the Chemical Composition of the Ocean,» *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 24 (1996), pp. 191-224.

(1021) J. M. Edmond, K. L. von Damm and R. E. McDuff and C. I. Measuresv, «Chemistry of Hot Springs on the East Pacific Rise and their Effluent Dispersal,» *Nature*, vol. 297 (1982), pp. 187-191.

(1022) J. B. Corliss [et al.], «Submarine Thermal Springs on the Galapagos Rift,» *Science*, vol. 203 (1979), pp. 1073-1083.

(1023) C. Covey and S. L. Thompson, «Testing the Effects of Ocean Heat Transport on Climate,» *Global and Planetary Climate Change*, vol. 75 (1989), pp. 331-341.

(1024) R. A. Sohn [et al.], «Explosive Volcanism on the Ultraslow-Spreading Gakkal Ridge, Arctic Ocean,» *Nature*, vol. 453 (2008), pp. 1236-1238.

أيضاً، هنالك منطقة[1025] في جنوب المحيط الهادي يظهر فيها بوضوح انتقال الحرارة من براكين في قاع البحر إلى المحيط حولها، وتؤثر في توازن حرارة سطح الأرض[1026]. هذا وحتى المناطق البعيدة عن حزام مرتفعات منتصف المحيط تطلق كميات كبيرة من الموائع والمنصهرات الحارة جداً[1027]. ولمّا كنّا لا نعرف إلا القليل عن المحيطات، فإن أي محاولة لحساب كمية الحرارة المضافة إلى المحيط من النشاط البحري الهيدروحراري يكون تحزرياً.

علينا أن نضع البراكين البازلتية ضمن المنظور. فإن لبعض الانفجارات البازلتية معدلاً كبيراً من الانبعاثات تبلغ، نحو 10,000 متر مكعب في الثانية[1028]. ويحثّ تشظي الصخور المنصهرة فقاعات الغاز المتطايرة. وبينما تصعد شظايا الصخر المنصهر إلى السطح، وتتحرر الغازات من المحاليل لتتحد مع الصهير، وتزداد نسبة الغاز المتحد كلما نمت الفقاعات في الحجم. وكلما تسارع انبعاث الغاز وتصاعد الصهير تبعاً لذلك كلما كانت نافورة الحمم البركانية أكثر ارتفاعاً. وقد يصل ارتفاع بعض نافورات الحمم هذه إلى ما يزيد على الكيلومتر علواً. ولما كان الـ H_2O هو الغاز الرئيسي، فإن عملية نزع أو تحرير الغاز منه هي بنسبة 5-1٪. وهذه النسبة كافية لإنتاج انبثاقات حممية بسرعات تراوح بين 100 إلى 500 متر في الثانية[1029].

بخلاف الفتق البحري في قعر المحيطات، يتشكل نوع مختلف من الهيئات البركانية عندما تكون أجزاء من قشرة الأرض قد رتقت مع بعضها بعضاً. وهذه مواضع أرضية أو تحتهوائية (Subaerial) تتكون بفعل البراكين التحت بحرية، كما هو الحال في حلقة النار في المحيط الهادي أو حزام المتوسط عبر

(1025) شذوذ النظيري والحراري في جنوب المحيط الهادي، فوق نقطة ثلاثية.

(1026) H. Staudigel [et al.], «Large Scale Sr, Nd and O Isotopic Anomaly of Altered Oceanic Crust: DSDP/ODP Sites 417/418,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 130 (1995), pp. 169-185.

(1027) B. Melchert [et al.], «First Evidence for High-Temperature off-Axis Venting of Deep Crustal/Mantle Heat: The Nibelungen Hydrothermal Field, South Mid-Atlantic Ridge,» *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 275 (2008), pp. 61-69.

(1028) D. Swanson, T. Wright and R. Helz, «Linear Vent Systems and Estimated Rates of Eruption for the Yakima Basalt on the Columbia Plateau,» *American Journal of Science*, vol. 275 (1975), pp. 877-905.

(1029) S. N. Carey, «Understanding the Physical Behavior of Volcanoes,» in: Joan Marti and Gerald Ernst, eds., *Volcanoes and the Environment* (New York: Cambridge University Press, 2005), pp. 1-54.

الآسيوي (Mediterranean-Trans-Asiatic Belt). وهو شكل حممي للغرانيت أو «ريولي» (Rhyolitic) إلى أنديزي (Andesitic) (صخر بركاني رمادي اللون ناعم الحبيبات) في تركيبه. وهذه مواد قابلة للانفجار، وتصدر قليلاً من الصهير، لكنها تقذف كميات كبيرة من الغاز. إن الجلمود (Boulder) وشظايا الصخور وقطع النسفة (Pumice)، والكريستال والحجر المصهور، والزجاج جميعها خارجة من براكين متفجرة. ويجعل الغاز المذاب الصخر الصهير أخف، وبخلاف البازلت ترتفع الصهارة النشيطة، لتخرج متفجرة على السطح حيث تتركها الغازات المنصهرة فور وصولها إلى السطح. تحدث الانفجارات البركانية غيوماً رمادية كونية الانتشار تترك رمادها حتى في الجليد القطبي. وتصدر هذه الانفجارات كميات هائلة من غازات متنوعة، وبخاصة بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون والغازات الكبريتية. وتسقط بعض هذه المواد بشكل حوامض كحمض الكبريتيك والنيتريك في المطر والثلج. وإذا حصل هيجان بركاني استوائي كبير (على سبيل المثال، في أميركا الوسطى، وإندونيسيا، وبابوا غينيا الجديدة)، فمن المحتمل أن يتغطى نصفا الكرة الأرضية برماد بركاني ناعم. بينما، قد تؤثر الانفجارات البركانية متوسطة البعد عن خط الاستواء أو البعيدة عنه فقط في نصف الكرة الأرضية الذي تنفجر منه.

كان أكثر من 1500 بركان تحتهوائي نشيطاً خلال الـ 10000 سنة الماضية، وانفجر أكثر من ثلثها مرة أو أكثر في التاريخ المسجل[1030]. تشكل هذه 1٪ من مساحة سطح العالم، ولكنها تشكل 15٪ من البراكين العالمية و80 في المئة من الانفجارات الموثقة تاريخياً أيضاً[1031]. إن نحو 57 في المئة من البراكين الـ 600 النشطة والمرئية هي إما جزر أو تقع ضمن مواضع ساحلية، وإن 38 في المئة منها يقع ضمن 250 كيلومتراً من المساحات الأرضية القارية. هذا ويعيش نحو 500 مليون شخص بالقرب من براكين نشطة أو كامنة[1032]. ولقد كان هذا هو

(1030) T. Simkin, and L. Siebert, *Volcanoes of the World: A Regional Directory, Gazetteer, and Chronology of Volcanism during the Last 10,000 Years* (Tuscon, AZ: Geoscience Press, 1994.)

(1031) R. J. Tilling, «Hazards and Climatic Impact of Subduction-Zone Volcanism: A Gobal and Historical Perspective,» in: Gray E. Bebout [et al.], eds., *Subduction Top to Bottom*, Geophysical Monograph; 96 (Washington, DC: American Geophysical Union, 1996), pp. 331-115.

(1032) R. I. Tilling, «Volcano Hazards,» in: Marti and Ernst, eds., *Volcanoes and the Environment*, pp. 55-89.

عدد سكان الأرض كله في القرن السابع عشر. يعيش معظم هؤلاء الناس في منطقة المحيط الهادي، وإذا حدث انفجار بركاني، يمكن أن يتكوّن تسونامي وغيوم رمادية لها أثر كبير في الجزر والأراضي القريبة القارية. نحن نعيش اليوم في زمن من الهدوء البركاني، فإذا أردت حقاً يوماً سيئاً في حياتك، فيمكن لبركان عظيم أن يحقق لك ذلك.

البراكين العظمى (Supervolcanoes)

تحدث البراكين العظمى في أقاليم نارية (Igneous Provinces) كبيرة في مناطق قارية وتحت البحار[1033][1034][1035][1036][1037]. ومعظمها براكين بازلتية، على الرغم من أن مناطق مثل تاوبو (Taupo) (نيوزيلندا) وتوبا (Toba) (إندونيسيا) ويلوستون (Yellowstone) (الولايات المتحدة الأميركية) هي أقاليم بركانية متفجرة. ويمكن لأحداث بركانية منتشرة أو بركان واحد عظيم أن يغير المناخ[1038]. تصدر الانفجارات البركانية الكبيرة الكمية نفسها من الطاقة التي يصدرها تصادم مع كويكب وهي أكثر تكراراً. وتبيّن ترسبات بحرية عميقة في شمال المحيط الهادي أن الترسبات تغيرت من لا جليدية إلى جليدية قبل 2.67 مليون عام[1039] على امتداد فترة من 2000 عام. وكان معدل التغير سريعاً جداً ليكون في استجابة مباشرة لبناء الجبال الذي يقتلع الـ CO_2 من الغلاف الجوي أو قوة ميلانكوفتش (Milankovitch) المدارية. وازداد عدد طبقات الرماد البركانية وكثافتها في ترسبات البحر العميقة عشر مرات في هذا الوقت ذاته،

(1033) D. L. Anderson, «Large Igneous Provinces, Delamination and Fertile Mantle,» *Elements*, vol. 1 (2005), pp. 271-275.

(1034) I. H. Campbell, «Large Igneous Provinces and the Plume Hypothesis,» *Elements*, vol. 1 (2005), pp. 265-269.

(1035) M. Coffin and O. Eldholm, «Large Igneous Processes: Crustal Structure, Dimensions, and External Consequences,» *Reviews in Geophysics*, vol. 32 (1994), pp. 1-36.

(1036) A. D. Saunders, «Large Igneous Provinces: Origins and Environmental Consequences,» *Elements*, vol. 1 (2005), pp. 293-297.

(1037) P. Wignall, «The Link between Large Igneous Provinces Eruptions and Mass Extinctions,» *Elements,* vol. 1 (2005), pp. 293-297.

(1038) B. G. Mason, D. M. Pyle and C. Oppenheimer, «The Size and Frequency of the Largest Volcanic Explosions on Earth,» *Bulletin of Volcanology,* vol. 66 (2004), pp. 735-748.

(1039) L. M. Prueheer and D. K. Rea, «Rapid Onset of Glacial Conditions in the Subarctic North Pacific Region at 2.67 ma; Clues to Causality,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 1027-1030.

مما يدل على فترة ممتدة من النشاط البركاني الكثيف، وربما متألف من عدة براكين. إن التكثيف السريع للتجلد كان في الأغلب متعلقاً مع فترة النشاط البركاني الواسعة هذه التي بدأت قبل 2.67 مليون عام. وفي هذا الوقت، أغلقت البراكين الطرق البحرية في أميركا الوسطى بين المحيط الهادي والكاريبي، وكان هناك تبادل بالفقاريات بين الأميركيتين مع تسارع في الدوران المتغير لمياه المحيط بسبب ابتراد النصف الشمالي للكرة الأرضية[1040]. وكان هناك انفجار نجمي قبل 2.67 مليون عام، غمر الأرض بأشعة كونية[1041]، صاحبته مجموعة من الأحداث التي ربما حركت تغير المناخ.

كانت أميركا تتحرك فوق بقعة حارة منذ 16 مليون عام، وهي الآن متمركزة تحت يلوستون (Yellowstone). حصلت آخر الانفجارات البركانية الرئيسية قبل 2.12 مليون عام (2450 كيلومتر مكعب من الرماد) وقبل 0.64 مليون عام (1000 كيلومتر مكعب من الرماد)[1042]. وإذا حدثت انفجارات كهذه في منطقة استوائية، فإنها تحدث ابتراداً عالمياً، لأن كمية هائلة من الرماد المقذوف في أعالي الجو كانت ستنتشر في عموم العالم، عاكسة الطاقة الشمسية. لقد أثرت انفجارات ما قبل 2.12 مليون عام و0.64 مليون عام على النصف الشمالي من الكرة الأرضية فقط، كان خلالها البشر يكافحون للعيش في الظروف الجليدية وما بين الجليدية المتبدلة. وتحصل الانفجارات الغازية عادة كل 20000 عام، وقد ترك انفجار حصل قبل 13000 عام فوهة واسعة طولها 5 كيلومترات في خليج ماري على حافة بحيرة يلوستون[1043]. وتزامناً مع ذلك، تقع تحت يلوستون كوة من الصخر المصهور يحوي غازات منحلة تحت ضغوط عالية جداً[1044]. فإذا هاج ذلك بانفجار بركاني عظيم، فيمكن أن يدمر أكبر اقتصاديات العالم.

(1040) P. Molnar, «Closing of the Central American Seaway and the Ice Age: A Critical Review,» *Palaeoceanography*, vol. 23 (2008): A2201, doi: 10.1029/2007PA001574.

(1041) K. Knie [et al.], «Indication for Supernova Produced ^{60}Fe Activity on Earth,» *Physics Reviews Letters*, vol. 83 (1999), pp. 18-21.

(1042) B. D. Marsh, «Magma Chambers,» *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 17 (1989), pp. 439-472.

(1043) L. A. Morgan [et al.], «Exploration and Discovery in Yellowstone Lake: Results from High-Resolution Sonar Imaging, Seismic Reflection Profiling and Submarine Studies,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 122 (2003), pp. 221-242.

(1044) G. P. Eaton [et al.], «Magma Beneath Yellowstone National Park,» *Science*, vol. 188 (1975), pp. 787-796.

كانت انفجارات مثل تامبورا (Tambora) (1815) وكراكاتوا (Krakatoa) (1883) معتدلة في حجمها[1045]، بينما كانت انفجارات في مرتفعات سانت هيلينا (Mt St. Helens) (1980)، وإل شيكون (El Chichon) (1982) ومرتفعات بيناتوبو (Mt Pinatubo) (1991) صغيرة جداً نسبياً. فماذا سيكون أثر بركان عظيم في المناخ؟ لدينا، حديثاً، بركان عظيم نسبياً، توبا (سوماطرة، إندونيسيا). وقد أصدر انفجاره قبل 74000 عام 2800 كيلومتر مكعب من الغبار، مقارنةً بـ 0.5 إلى 1 كيلومتر مكعب من الغبار الآتي من انفجار مرتفعات سانت هيلينا. أصدر توبا ما لا يقل عن 1000 مليون طن من رذاذ (Aerosole) حمض الكبريتيكيك، كما هو ظاهر في قمة (ذروة) الحموضة المميزة في لب جليد غرينلاند. وبقي الرذاذ في الغلاف الجوي ست سنوات على الأقل بعد حدوثه خلال ابتراد طبيعي عندما كان مستوى سطح البحر ينخفض[1046]. قد يكون الهيجان البركاني قد حفز على حدوث ابتراد لألفية زمنية قبل استتباب البرد الطبيعي[1047]، وحصول شتاء بركاني لمدة ست سنوات[1048]، وتسارع للتجلد[1049]؛ انخفضت حينها درجة حرارة النصف الشمالي للكرة الأرضية نحو 10 درجات مئوية[1050].

إلى جانب الحجم الكبير من رذاذات حمض الكبريتيكيك، غطت طبقة سماكتها 15 سنتيمتراً من الرماد البركاني عموم الهند وآسيا[1051][1052]. ويمكن لمقدار قليل من الرماد البركاني يساوي سنتمتراً واحداً، أن يدمر الزراعة. ولا

(1045) S. Self [et al.], «Magma Volume, Volatile Emissions and Stratospheric Aerosols from the 1815 Eruption of Tambora,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), L20608, doi: 10.1029/2004GL020925.

(1046) G. A. Zielinski, «Potential Atmospheric Impact of the Toba Mega-Eruption,» *Geophysical Research Letters,* vol. 23 (1996), pp. 837-840.

(1047) حدث دانسغارد– أوشغر 19.

(1048) C. Oppenheimer, «Limited Global Change Due to the Largest Known Quaternary Eruption,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 21 (2002), pp. 1593-1609.

(1049) M. R. Rampino and S. Self, «Volcanic Winter and Accelerated Glaciations Following the Toba Super Eruption,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 50-52.

(1050) G. S. Jones and P. A. Stott, «Simulation of Cimate Response to a Supper-Eruption,» *American Geophysical Union Chapman Conference on Volcanism and the Earth's Atmosphere*, Santorini, Greece, 17-21 July 2002, Abstracts, p. 45.

(1051) W. I. Rose and C. A. Chesner, «Worldwide Dispersal of Ash and Gases from Earth's Largest Known Eruption,» *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology*, vol. 89 (1990), pp. 269-275.

(1052) S. -R. Song [et al.], «Newly Discovered Eastern Dispersal of the Youngest Toba Tuff,» *Marine Geology*, vol. 167 (2000), pp. 303-312.

شك أن بركان توبا دمر غابات وأراض زراعية في معظم المناطق القريبة من خط الاستواء.

لقد عاشت مجاميع الصيادين في مناطق قريبة من خط الاستواء، حيث تكون الأحياء إجمالاً مضغوطة ضغطاً شديداً. وقد نتج من هذه الأزمة البيئية العالمية الضاغطة تناقص كبير في عدد بني البشر. انخفض عدد السكان على كوكب الأرض إلى نحو 4000 أو10000 شخص[1053] حتى أصبحنا، نحن البشر، منقرضين تقريباً. إن عنق الزجاجة الجيني هذا استدل عليه من صناعات بدائية حجرية منتشرة في الهند[1054]. ويعلق آخرون، على عنق الزجاجة الجيني بأنه فعلاً موجود، وأن الدمار الذي نتج من انفجار توبا هو الذي شجع على الهجرة البشرية[1055]. تبع هذا الانفجار ازدياد سريع في عدد السكان، وتطورات تكنولوجية، وانتشار الناس في أوروبا والهند وآسيا وأستراليا.

إن البراكين العظيمة تهديد للحضارة على الأرض[1056][1057] إذ تحدث بتكرار يساوي ضعف تكرار تصادم الأرض مع الكويكبات والمذنبات التي يزيد قطرها على كيلومتر واحد. ويمكن أن يكون للكويكبات والمذنبات آثار مشابهة على المناخ كبركان عظيم. هذا ولا تأخذ نماذج المناخ الحالية بالحسبان احتمال هيجان بركاني عظيم آخر، فيما ينام الناس قلقين في إندونيسيا، وبابوا غينيا الجديدة (Papua New Guinea) ومنطقة المحيط الهادي[1058]. وهذه من صنف البراكين العظمى (الصغيرة) التي نستطيع رؤيتها. أما التي لا نستطيع رؤيتها فتهديدها أكبر.

(1053) M. R. Rampino, and S. H. Ambrose, «Volcanic Winter in the Garden of Eden: The Toba Supereruption and the Late Pleistocene Human Population Crash,» *Geological Society of America Special Paper*, vol. 345 (1999), pp. 1-12.

(1054) M. Petraglia [et al.], «Middle Palaeolithic Assemblages from the Indian Subcontinent before and after Toba Super-Euption,» *Science*, vol. 317 (2007), pp. 114-116.

(1055) F. J. Gathorne-Hardy and W. E. H. Harcourt-Smith, «The Super-Eruption of Toba, Did it Cause a Human Bottleneck?,» *Journal of Human Evolution*, vol. 45 (2003), pp. 227-230.

(1056) W. J. McGuire [et al.], «The Archaeology of Geological Catastrophes,» *The Geological Society of London Special Publication*, vol. 171 (2000).

(1057) M. P. Rampino, «Supereruptions as a Threat to Civilizations on Earth-Like Planets,» *Icarus*, vol. 156 (2001), pp. 562-569.

(1058) Tom Simkin and Lee Siebert, *Volcanoes of the World* (Tucson, AZ: Geoscience Press, 1994).

تغمر البراكين العظمى البازلتية القارية مناطق كبيرة من القارات بالحمم والصهارة مثل مرتفعات إثيوبيا، وبازلت نهر كولومبيا (الولايات المتحدة الأميركية)، وإقليم إميشان الناري (غرب الصين) وبازلت بارانا ـ إتنديكا (Parana-Etendeka) (البرازيل ـ ناميبيا (Brazil-Namibia))[1059]. ولقد تزامنت انقراضات جماعية للأحياء مع كثير من هذه الأحداث[1060]، مثل أفخاخ سيبيريا، والمرتفعات البرازيلية، وأقاليم كارو فيرار البازلتية (جنوب أفريقيا ـ القطب الجنوبي)[1061]. ولعل الانقراض الجماعي الأشد في جميع الأزمنة حصل عندما كانت البراكين العظمى البازلتية في ذروتها[1062].

قد تحدث البراكين العظمى البازلتية انقراضاً جماعياً للأحياء على اليابسة، بينما تغير البراكين العظمى البحرية المناخ. وهناك أقاليم بركانية عظمى تبقى تحت المحيطات. ومن السهول البحرية ذات النشاط البركاني هضاب الكاريبي ـ الكولومبي (البحر الكاريبي)، وهضاب كرغولن (المحيط الهندي)، وهضاب أونتونغ جافا (Ontong Java Plateau) (جنوب غرب المحيط الهادي)، وسهل مانيهيكي (جنوب غرب المحيط الهادي) وسهل هيكورانغي (جنوب غرب المحيط الهادي). وينتج من فتق القارات وانسحابها عن بعضها البعض محيطات. تثور خلال هذه العملية كميات كبيرة من صهارة البازلت والغازات البركانية. وتشكل الصهارة قيعان جميع المحيطات الرئيسية على الأرض. وقد تشكل المحيط الأطلسي بالفتق والسحب لقارة قديمة. وتحتوي الأراضي الواقعة، على حافة القارة المنجرفة، بازلت أيضاً. فعلى سبيل المثال، يشمل إقليم شمال الأطلسي الناري بازلتاً في غرينلاند، وآيسلاندا، وإيرلندا، واسكوتلندا،

(1059) D. W. Peate, «The Parana-Etendeka Province,» in: John J. Mahoney and Millard F. Coffin, eds., *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic and Panetary Flood Volcanism,* Geophysical Monograph; 100, American Geophysical Union, 272-281 (Washington, DC: American Geophysical Union, 1997).

(1060) P. B. Wignall and A. Hallam, *Mass Extinctions and their Atermath* (New York: Oxford University Press, 1997).

(1061) J. S. Marsh [et al.], «Stratigraphy and Age of Karoo Basalts of Lesotho and Implications for Correlations within the Karoo Igneous Province,» in: John J. Mahoney, Millard F. Coffin, eds., *Large Igneous Provinces: Continental, Oceanic, and Planetary Flood Volcanism,* Geophysical Monograph; 100, American Geophysical Union (Washington, DC: American Geophysical Union, 1997), pp. 247-272.

(1062) A. H. Knoll [et al.], «Comparative Earth History and Late Permian Mass Extinction,» *Science*, vol. 273 (1996), pp. 452-456.

والفايروس (The Faeroes). وإن إقليم وسط الأطلسي لشرق الولايات المتحدة الأميركية، وشمال جنوب أميركا وشمال غرب أفريقيا هي قسم أيضاً من الحدث نفسه، أي فتق قاع المحيط الأطلسي. لقد تزامن مع هذه الانفجارات البازلتية الكبيرة لإقليم الأطلسي المركزي انقراض جماعي لأحياء معقدة في نهاية العصر الترياسي[1063].

كانت هناك أحداث مفاجئة لانفجارات بازلتية خلال الزمن تتعلق بمط قشرة الأرض وتكسرها. وكانت الممرات البازلتية الحاجزة شائعة أيضاً في الأزمنة القديمة، (على سبيل المثال، حاجز ماكنزي، البازلت النحاسي، كندا)[1064] مبينةً أن فتق القارات ورتقها (على سبيل المثال، البنى الصفائحية التكتونية) قد حصل منذ زمن طويل.

على الرغم من وفرة البراكين البازلتية في المريخ، لم تتكون صفائح تكتونية على سطحه. ولذلك لا يمكن لأي تغير مناخي على المريخ أن يكون متعلقاً بالبنى الصفائحية، وأن كل ماله علاقة بـ ثاني أكسيد الكربون، أو الماء، أو الحياة (إن وجدت)، أو المحيطات أو الغلاف الجوي، سيكون متأثراً بالشمس فقط. ويتمتع المريخ باحترار كوني وليس له غلاف جوي تقريباً. وحسب معرفتي، فليس هناك صناعة أو إصدار لثاني أكسيد الكربون على المريخ. وهذا دليل قوي على أن الشمس تحرك المناخ على المريخ. وربما كانت الشمس هي القوة المحركة الرئيسية للمناخ على الأرض.

تحتل مناطق البراكين البازلتية العظمى بضع ملايين من الكيلومترات المربعة وتحتوي على ما يقارب مليون كيلومتر مكعب من البازلت الذي يلفظ خارجاً كصهارة في فترة قاربت المليون عام. تثور صهارة البازلت في درجة حرارة 1100 مئوية، وربما في درجة حرارة أعلى. وتستمد الانفجارات الرئيسية من أعمدة[*] (Plume) غازية حرارية وصخور منصهرة تطفو مكونة قشرة الأرض. وقد تسبب هذه الأعمدة الجبارة انكساراً قارياً، وتترك بازلتات متشابهة

(1063) R. K. Bambach, A. H. Knoll and S. C. Wang, «Origination, Extinction, and Mass Depletions of Marine Diversity,» *Paleobiology*, vol. 30 (2004), pp. 522-542.

(1064) W. R. A. Barager [et al.], «Longitudinal Petrochemical Variation in the Mackenzie Dyke Swarm, Northwestern Canadian Shield,» *Journal of Petrology*, vol. 37 (1996), pp. 317-359.

(*) أعمدة غازية حرارية ناتجة من انفجارات بركانية تحت بحرية تحتوي على صهارة وحمم بركانية.

على كل طرف من أطراف المحيط (على سبيل المثال، بارانا، وجنوب أميركا، وإتنديكا، وأفريقيا). وإن ملاحظة معدل انسياب الصهارة من براكين آيسلاندا، وبخاصة انفجار لاكي 1783 (Laki)، بيّن أنه يتطلب 10 سنوات فقط لكي يقذف بركان عظيم بازلتي ما مقداره 1500 كيلومتر مكعب من الصهارة. ويمكن المصادقة على ذلك بالنظر إلى البراكين البازلتية الأقدم.

إن بركان انسياب الروزا (Rosa Flow) قبل 14.7 مليون عام في إقليم نهر كولومبيا الفيضاني البازلتي حجمه 1000 كيلومتر مكعب. وأصدر هذا الانفجار 10000 مليون طن من ثاني أكسيد الكبريتيك مع كميات كبيرة من الأحماض الهيدروكلورية والهيدروفلورية[1065]. وفي معدلات الانفجار القصوى المشابهة لتلك التي تقاس في «لاكي»، أنتج انفجار «روزا» حمم صهارة تدفقت إلى ارتفاع 1.5 كيلومتر في السماء، وعموداً من الغاز والحرارة ارتفع 15 كيلومتراً فوق سطح البحر. ولو استمر الانفجار روزا عشر سنوات أخرى، لكان حمل الغلاف الجوي من الرذاذات كبيراً جداً، ولأحدث تحول كميات كبيرة كهذه من ثاني أكسيد الكبريت إلى حمض الكبريتيكيك إلى جعل الهواءً جافاً. يحوي الغلاف الجوي اليوم 1000 مليون طن من بخار الماء، ولكي يصبح جافاً يجب أن يفقد هذه الكمية من بخار الماء. ولا يمكن حساب آثار انفجار بركاني من نوع «روزا» باستخدام النماذج المتوفرة. لكن إصدار فيض البازلت للرذاذات كفيل بابتراد الغلاف الجوي بين خمس إلى عشر درجات مئوية. ويمكنها أيضاً أن تدفئ الغلاف الجوي بإضافة ثاني أكسيد الكربون. هنالك اقتراحات تفيد أن فيضانات بازلت ديكان (Deccan) زاد من ثاني أكسيد الكربون الجوي بنحو200 ppmv. وكان هناك احترار بلغ نحو درجتين مئوية[1066]. وربما كان الغلاف الجوي قد دفئ ببازلت فيضان ديكان (Deccan) إذ كان الهواء الدائر هو الطريق الوحيد لابتراد بازلت الفيض.

يسخن بركان عظيم تحت بحري مياه المحيط، ويضيف CO_2 إلى المياه (الذي يصدر في ما بعد نحو الغلاف الجوي)، ويحول مياه المحيط مؤقتاً من

(1065) T. Thordarson and S. Self, «Sulfur, Chlorine and Fluorine Degassing and Atmospheric Loading by the Roza Eruption, Columbia River Basalt Group, Washington, USA,» *Journal of Volcanological Geothermal Research*, vol. 74 (1996), pp. 49-73.

(1066) K. Caldeira and M. R. Rampino, «Carbon Dioxide Emission from Deccan Volcanism and a K/T Boundary Greenhouse Effect,» *Geophyiscal Research Letters*, vol. 17 (1990), pp. 1299-1302.

قلوية إلى حمضية، ويزيل الأكسجين من ماء المحيط ويسبب انقراضاً محلياً، ثانوياً، أو جماعياً. ومعظم البراكين العظمى بحرية، فلا نراها، ولا تدخل في نماذج مناخية، وتصدر كميات هائلة من ثاني أكسيد الكربون.

الغازات البركانية

إن جزيرة «وايت» (White island) هي امتداد شاطئي لطوق تاوبو البركاني (Taupo volcanic aone) لنيوزيلندا، وفيه الكثير من الأنظمة النشيطة والأحفورية الجيوحرارية[1067]. ويضخ الطوق البركاني كل يوم في الفضاء بين 4800 إلى 18000 طن من بخار الماء، و1150 إلى 4120 طناً من الـ CO_2، و320 إلى 1200 طن من ثاني أكسيد الكبريت، و96 إلى 360 طناً من حمض الهيدروكلوريك، و2.6 إلى 10 أطنان من حمض الهيدروفلوريك و0.16 إلى 0.36 طن من الأمونيا[1068]. وترسب بعض القذفات الحارة الزئبق السائل في قعر البحر المتاخم، كما هو الحال على امتداد الشاطئ لطوق تاوبو البركاني[1069]. وليس هذا أمراً غير عادي؛ فإن بركان كودوفسكايا (Kudovskaya) في جزيرة إتوروب (Iturup) يضخ في كل يوم غازاً تتراوح حرارته بين 150 و940 درجة مئوية يحوي 1800 طن من H_2O، و50 طناً من الـ CO_2، و62 طناً من ثاني أكسيد الكبريت، و7 أطنان من كبريتيد الهيدروجين، و8 أطنان من حمض الهيدروكلوريك، و0.1 طن من فلوريد الهيدروجين، و0.4 طن من النيتروجين و30 غراماً من الهيليوم[1070]. وترسب الغازات مادة صلبة خاصة لإنتاج 12 طناً سنوياً من الرينيوم[1071] 25 طناً من الإنديوم، و6 أطنان من الجرمانيوم و1.4 طن

(1067) J. W. Hedenquist and P. R. L. Browne, «The Evolution of Wairotapu Geothermal System, New Zealand, Based on the Chemical and Isotopic Composition of its Fluids, Minerals and Rocks,» *Geochimica et Cosmochimica Acta,* vol. 53 (1989), pp. 2235-2257.

(1068) W. Giggenbach, «Variations in the Chemical and Isotopic Composition of Fluids Discharged from the Taupo Volcanic Zone, New Zealand,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 68 (1995), pp. 89-116.

(1069) P. Stoffers [et al.], «Elemental Mercury at Submarine Hydrothermal Vents in the Bay of Plenty, Taupo Volcanic Zone, New Zealand,» *Geology*, vol. 27 (1999), pp. 931-934.

(1070) M. A. Korzhinskii, «Condensate Compositions and Native Metals in Sublimates of High Temperature Gas Streams of Kudrayavyi Volcano, Iturup Island, Kuril Islands,» *Geokhimiya,* vol. 12 (1996), pp. 1175-1182.

(1071) S. G. Tessalina [et al.], «Sources of Unique Rhenium Enrichment in Furmaroles and Sulphides at Kudryavy Volcano,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 72 (2007), pp. 889-909.

من الذهب[1072]. وتضخ نبعة الماموث الحارة في يلوستون، في الولايات المتحدة الأميركية، 160 إلى 190 طناً باليوم من الـ CO_2[1073] وأصدر بركان جبل بيناتوبو (Punatubo) في الفيليبين 20 مليون طن من ثاني أكسيد الكبريت (الذي تفاعل مع بخار الماء في الغلاف الجوي ليشكل رذاذات معدلة للمناخ من 30 مليون طن من حمض الكبريتيك)[1074] وكميات كبيرة جداً من الكلوروفلوروكربونات (CFC_s)، وهي الغازات التي تدمر طبقة الأوزون[1075].

على الرغم من أن أنواع الغاز ووفرتها تختلف من بركان إلى بركان اعتماداً على كيمياء الصخور المنصهرة، إلا أن حجم التركيب الغازي النموذجي يتكون من 70 ـ 80 في المئة H_2O، و8 ـ 12 في المئة CO_2، و3 ـ 5 في المئة نيتروجين، و5 ـ 8 في المئة ثاني أكسيد الكبريت ونسب خفيفة من الهيدروجين وأول أكسيد الكربون، والكبريت، والكلورين والأرغون. وإن الغازات البركانية عموماً خالية من غاز الأكسجين. وعلى الرغم من ذلك يحوي الغلاف الجوي على 21 في المئة أكسجين و0.03 في المئة CO_2 فقط. وقد احتوى الغلاف الجوي على كميات كافية من الأكسجين لنصف الزمن. وهذا يستمد من إزالة CO_2 من الغلاف الجوي بعملية التركيب الضوئي[1076] وتعويضه بكميات من الأكسجين.

إن للغازات الكبريتيكية المنبعثة من البراكين أثراً عميقاً في تركيب الغلاف الجوي. وقد تبدل غازات أخرى مثل الكلور والكلوروفلوروكربونات مؤقتاً التركيب الجوي غير أنها تنظف بعمليات تساقط الرماد[1077][1078]. ينطلق

(1072) A. A. Kremenetsky, «High-Temperature Re, In, Ge, Bi-Including Volcanic Gases are Actually Parental to Modern Ore Genesis,» *IAGOD Symposium, Understanding ORE Genesis*, Moscow 2006.

(1073) J. B. Lowenstern, R. B. Smith and D. P. Hill, «Monitoring Super-Volcanoes: Geophysical and Geochemical Signals at Yellowstone and Other Caldera Systems,» *Philosophical Transactions of the Royal Society,* A364 (2006), pp. 2055-2072.

(1074) M. P. McCormick, L. W. Thomason, and C. R. Trepte, «Atmospheric Effects of the Mount Pinatubo Eruption,» *Nature*, vol. 373, pp. 399-404.

(1075) G. Brasseur and C. Granier, «Mount Pinatubo Aerosols, Chlorofluoeocarbons, and Ozone Depletion,» *Science*, vol. 257 (1992), pp. 1239-1242.

(1076) P. Cloud, *Oasis in Space: Earth History from the Beginning* (New York: Norton, 1988).

(1077) A. Tabazadeh and R. P. Turco, «Stratospheric Chlorine Injection by Volcanic Eruptions: Hydrogen Chloride Scavenging and Implications for Ozone,» *Science*, vol. 20 (1993), pp. 1082-1086.

(1078) W. I. Rose, Jr., R. E. Stoiber and L. L. Malinconico, «Eruptive Gas Compositions and Fluxes of Explosive Volcanoes: Budget of S and Cl Emitted from Fuego Volcano, Guatemala,» in: R. S. Thorpe, ed., *Andesites* (New York: John Wiley, 1982), pp. 669-676.

الكبريت نحو الغلاف الجوي كثاني أكسيد الكبريت بشكل رئيسي (SO_2) وأيضاً ككبريتيد الهيدروجين (H_2S)، ومن المعادن الفقيرة بالأكسجين. ويتأكسد H_2S بسرعة لـ SO_2 بعمليات ضوئية كيميائية خلال بضعة أيام. يشكل حمض الكبريت قطيرات أو أنوية في دقائق رماد أو جسيمات جليدية، ويبقى معلقاً في الجو لشهر على الأقل بعد الانفجار البركاني[1079][1080]. تكون جسيمات الرذاذات كرات جليدية إلى قطيرات كروية سائلة بأقطار تتراوح بين 0.1 إلى 1.0 ميكروميتر، وبمعدل 0.5 ميكروميتر. ويبلغ هذا القطر حوالى نصف الطول الموجي لأشعة الشمس الساقطة. تؤدي الرذاذات هذه إلى تشتيت الأشعة الشمسية قصيرة الموجة مسببة ابتراد التروبوسفير واحترار الستراتوسفير. توفر الرذاذات ودقائق الرماد قصيرة العمر، وغيوم جليدية مستمدة من أعمدة الانفجار، نواةً لغيوم علوية (Cirrus) من نوع الطخرور تقع في أعلى «التروبوسفير» وفي «الستراتوسفير». وتعكس هذه الغيوم الإشعاع الشمسي، مما ينتج منه ابتراد. وتتعلق زيادة بخار ماء الجو في مناطق استوائية بانفجار بركاني ذي أثر مشابه[1081]. ولقد قيس ابتراد راوح بين 0.3 إلى 1.0 درجة مئوية لفترة عام إلى ثلاث سنوات تلت الانفجارات البركانية الحديثة والتاريخية[1082][1083][1084]، والتي قد تكون في بعض الأحيان متوازنة بتأثير الاحترار، وكذلك بتأثير احترار اهتزاز إل نينو (El Niño) الجنوبي[1085][1086].

(1079) L. W. Thomason, «A Diagnostic Aerosol Size Distribution Inferred from SAGE II Measurements,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 96 (1991), pp. 501-522.

(1080) J. Zhao, R. P. Turco and O. B. Toon, «A Model Simulation of Pinatubo Volcanic Aerosols in the Stratosphere,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 100 (1996), pp. 7315-7328.

(1081) B. J. Sodon [et al.], «Global Cooling Following the Eruption of Mt Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor,» *Science*, vol. 296 (2002), pp. 727-730.

(1082) S. Self, M. R. Rampino and J. J. Barbera, «The Possible Effects of Large 19th and 20th Century Volcanic Eruptions on Zonal and Hemispheric Surface Temperatures,» *Journal of Volcanological and Geothermal Research*, vol. 11 (1981), pp. 41-60.

(1083) R. S. Bradley, «The Explosive Eruption Signal in Northern Hemisphere Continental Temperature Records,» *Climate Change*, vol. 12 (1988), pp. 221-243.

(1084) C. F. Mass, and D. A. Portman, «Major Volcanic Eruptions and Climate: A Critical Evaluation,» *Journal of Climate,* vol. 2 (1989), pp. 566-593.

(1085) J. K. Angell, «Impact of El Niño the Delineation of Tropospheric Cooling due to Volcanic Eruptions,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 93 (1988), pp. 3697-3704.

(1086) J. K. Angell, «Stratospheric Warming due to Agung, El Chicón and Pinatubo Taking into Account the Quasi-Biennial Oscillation,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 102 (1997), pp. 947-948.

إن قياسات درجة الحرارة هذه كانت لانفجارات بركانية يومية، وليست لبراكين عظمى[1087].

تتأثر أشعة الضوء والحرارة التي تمر في الجو بشفافية الغلاف الجوي. وإن معظم الاختلاف في الشفافية يتعلق بالانفجارات البركانية[1088][1089][1090][1091]. وقد افترض أنه حتى انفجار عام 1980 لبركان جبل سانت هيلانة، كان سبب الانخفاض في شفافية الغلاف الجوي هو غبار الزجاج وجسيمات الصخور الناعمة. وعلى الرغم من أن انفجار بركان جبل سانت هيلانة، كان انفجاراً ثانوياً جداً، إلا أنه خضع لدراسات مكثفة. وتبين إحدى النتائج المستحصلة أن فترة بقاء (RT) قطيرات حمض الكبريتيك، التي انطلقت من الانفجار، كانت في الغلاف الجوي طويلة، وعكست خلالها الطاقة الشمسية، مما نتج منه ابتراد للغلاف الجوي. وتزامنت بعدئذٍ فترة خالية تقريباً من الانفجارات البركانية (من عام 1912 إلى عام 1963) مع متوسط احترار كوني يقدر بـ 0.5 درجة مئوية. ومن الممكن أن يكون الغلاف الجوي قد احتر بسبب نقص حصته الطبيعية من رذاذات البراكين[1092][1093].

تتراوح فترة البقاء (RT) في «الستراتوسفير» بين أسابيع إلى سنوات، بينما

(1087) J. K. Angel and J. Korshover, «Surface Temperature Changes Following the Six Major Volcanic Episodes between 1780-1980,» *Journal of Climate and Applied Meteorology*, vol. 24 (1985), pp. 937-951.

(1088) R. A.Bryson and B. M. Goodman, «Volcanic Activity and Climate Changes,» *Science*, vol. 27 (1980), pp. 1041-1044.

(1089) R. A. Bryson and B. M.Goodman, «The Climatic Effect of Explosive Volcanic Activity: Analysis if the Historical Data,» paper presented at: NASA Conference Publication 2240, *Atmospheric Effects and Potential Climatic Impact of the 1980 Eruptions of Mt St Helens Symposium*, 18-19 November 1980.

(1090) R. A.Bryson, «Volcans et climat,» *La Recherche*, vol. 13, no. 135 (1982), pp. 844-853.

(1091) R. U. Bryson and R. A. Bryson, «Application of a Global Volcanicity Time-Series on High-Resolution Palaeoclimatic Modeling of the Eastern Mediterranean,» in: Arie S. Issar and Neville Brown, eds., *Water, Environment and Society in Times of Climatic Change* (Boston, MA: Kluwer Academic, 1998), pp. 1-19.

(1092) T. J. Crowley, «Causes of Climate Change over the Past 1000 Years,» *Science,* vol. 289 (2000), pp. 270-277.

(1093) A. Robock, «The Volcanic Contribution to Climate Change of the Past 100 Years,» in: *Greenhouse-Gas-Induced Climate Change: A Critical Appraisal of Simulations and Observations*, edited by M. E. Schlesinger ([Amsterdam]: Elsevier, 1991), pp. 429-444.

تكون فترة البقاء في التروبوسفير غير معروفة نسبياً، إلا أنه من المتوقع أن تكون أقل. وتزول غيوم الرذاذات (Aerosol Clouds) الجوية بعد انتشارها حول الأرض تدريجياً بشكل متساقطات جسيمية. ويسقط البعض منها مع الثلج القطبي، وبالتالي يمكن استعمال لب الجليد كعيّنة لبعض الأحداث البركانية الغنية بالكبريت[1094]. هذا، وتتعلق اضطرابات جوية أخرى مثل استنزاف أوزون الستراتوسفير في مناطق قطبية معتدلة بفترات من انطلاق الرذاذات البركانية المعززة[1095].

إضافةً إلى نشاط كلف الشمس المنخفض، كانت هناك فترات امتدت من عقود إلى قرون، خلال العصر الجليدي الصغير، عندما كانت الانفجارات البركانية التي تصدر ثاني أكسيد الكبريت أكثر تكراراً[1096][1097]. وفي أوروبا كان يشار إلى عام 1783 على أنه عام الرعب (Year of Awe) (Annus Mirabilis) بسبب تزامنه مع عدد من الكوارث الكبيرة. فقد رابطت غشاوة ضبابية (Haze) من حمض الكبريتيك فوق أوروبا. اقترح بنيامين فرانكلين (Benjamin Franklin) بصفته السفير الأميركي في باريس يومئذ، أن يكون السبب انفجاراً بركانياً في آيسلاندا[1098].

هاج بركان لاكي في منطقة لاغاجيفار (Lagagigar) في آيسلاندا بين حزيران/ يونيو 1783 وشباط/ فبراير 1784 بنوافير صهارية بازلتية أطلقت 150 مليون طن من رذاذات ثاني أكسيد الكبريت الذي دخل إلى الغلاف الجوي. وقد أنقص هذا الهيجان عدد سكان آيسلاندا. وتذكر التقارير التاريخية عوارض منها وجود رائحة حمضية، وصعوبة في التنفس، والترسب الجاف للكبريت، وبإلحاق الضرر بالنباتات. كل هذا يدل على وجود محتوى عالٍ للـ SO_2 في

(1094) G. A. Zielinski [et al.], «A 110 000-Yr Record of Explosive Volcanism from the GISP2 (Greenland) Ice Core,» *Quaternary Research*, vol. 45 (1996), pp. 109-118.

(1095) A. M. Vogelmann, T. P. Ackerman and R. P. Turco, «Enhancements in Biologically Effective Ultra-Violet Radiation Following Volcanic Eruptions,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 47-49.

(1096) S. C. Porter, «Pattern and Forcing of Northern Hemisphere Glacier Variations during the Last Millennium,» *Quaternary Research*, vol. 26 (1986), pp. 27-48.

(1097) T. J. Crowley and K. -Y. Kim, «Modelling the Temperature Response to Forced Climate Change over the Last Six Centuries,» *Geophysical Research Letters*, vol. 26 (1999), pp. 1901-1904.

(1098) B. Franklin, «Meteorological Imaginations and Conjectures,» *Manchester Literary and Philosophical Society Memoirs and Proceedings*, vol. 2 (1784), pp. 373-377.

الهواء. وقد أدى هذا البركان إلى هلاكات بين البشر أعلى من المعدل العادي[1099][1100]، عدا أنه فتح لنا نافذة على تأثير بركان عظيم في البيئة والحياة. وكانت درجات الحرارة في أوروبا الغربية في تموز/يوليو 1783 أدفأ بثلاث درجات، ولعل تأثير الانحباس الحراري للغيم البركاني الغني بـ SO_2 كان قد أدى إلى احترار إقليمي بارز وقصير المدة. فقد كانت أوروبا وأميركا تغطيهما غيوم الرذاذات ما جعل أشعة الشمس باهتة، وعندما شكل SO_2 حمض الكبريتيك، أصبح الصيف والشتاء باردين برداً قارساً. وكان هناك نقص في المحاصيل في العام التالية. فإذا كان هذا هو ما يحدث في هيجان معتدل مثل لاكي، فتخيل ما سيحدث مع بركان عظيم غير عادي. إنه سوف يضيف مقداراً كبيراً من SO_2 إلى الغلاف الجوي، مثلما حصل عند هيجان توبا أو بركان غير عادي آخر. على الرغم من أن قطيرات حمض الكبريتيك ستسقط على الأرض، وسيكون هناك فائض من SO_2في الغلاف الجوي وقليل من H_2O.

إن للانفجارات البركانية الكبيرة والأغطية الرذاذاتية (Aerosols) أثراً عظيماً على المناخ والطقس وحتى الأحداث الصغيرة تسبب عوائق قصيرة الأمد للمناخ والطقس. وإن للغيوم الرذاذية لحمض الكبريتيك الأثر الأبرز في فعل الإشعاع، وفي درجات حرارة السطح، ونماذج الحركة الجوية الديناميكية. ويمكن للآثار أن تكون إقليمية، أو موقعية، أو عالمية بناءً على موقع البركان ونماذج الدورات الهوائية أثناء الانفجار[1101][1102][1103]. إن فهمنا للرذاذات العالقة في الغلاف الجوي مستمد فقط من السنين المئة الأخيرة من القياس، وهي فترة من الهمود النسبي. مع ذلك فإن الانفجارات البركانية التي أصدرت كميات كبيرة من

(1099) V. Courtillot, «New Evidence for Massive Pollution and Mortality in Europe in 1783-1784 May have Bearing on Global Change and Mass Extinctions,» *Comptes Rendes Geosciences*, vol. 337 (2005), pp. 635-637.

(1100) J. Grattan [et al.], «Volcanic Air Pollution and Mortality in France 1783-1784,» *Comptes Rendes Geosciences*, vol. 337 (2005), pp. 641-651.

(1101) P. M. Kelly, P. D. Jones and J. Pengqun, «The Spatial Response of the Climate System to Explosive Volcanic Eruptions,» *International Journal of Climatology*, vol. 16 (1996), pp. 537-550.

(1102) M. M. Halmer, H. -U. Schmincke and M. H.-U. Graf, «The Annual Volcanic Gas Input into the Atmosphere, in Particular into the Stratosphere: A Global Data Set for the Past 100 Years,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research,* vol. 115 (2002), pp. 511-528.

(1103) A. Robock, «Volcanic Eruptions and Climate,» *Reviews of Geophysics*, vol. 38 (2000), pp. 191-219.

غازات الكبريت تتعلق بالابتراد الكوني على سطح الأرض[1104]، ويبدو أن ليس هناك علاقة بين حجم الانفجار وكمية الكبريت الذي يقذف إلى الجو[1105]. وقد يضيف عدد من الانفجارات البركانية الثانوية كميات من غازات الكبريت إلى الغلاف الجوي تزيد على ما يرميه انفجار بركاني كبير.

هذا ويختلف الانتظام الدوري (Cyclic Regularity) للأحداث البركانية اختلافاً بارزاً خلال أحداث مثل هاينريخ (Heinrich) ودانسغارد ـ أوشغر (Dansgard-Oeschger). ولا يبدو منطقياً أن تكون التغيرات في البراكين متعلقة بتغيرات محيطية (Oceanic) وجوية، بل العكس هو الواقع، حتى إن الشفافية الجوية الناتجة من الغبار البركاني حرّكت أحداث هاينريخ ودانسغارد ـ أوشغر[1106]. وقد حرّكت هذه الدورات الاستجابات المحيطية والجوية لنموذج الإشعاع الداخل[1107]. إن إدراك فترة 1430 عاماً من السجلات البركانية والمناخية، التي تسمى الآن دورة دانسغارد ـ أوشغر، ليست جديدة. فقد لوحظت أولاً عام 1914[1108].

كان انفجار كراكاتوا في آب/أغسطس عام 1883 في إندونيسيا الكارثة الكبيرة الأولى التي نشرت عالمياً وبسرعة، والسبب يعود إلى اختراع التلغراف حينئذٍ، فقد سمح ذلك بربط غروب الشمس وظواهر بصرية أخرى بالانفجار. وقد ظن حينها أن هناك حجاباً من غبار يلف الأرض، مستمد من الانفجار[1109]. لكنه تأكد في ما بعد على أن «الحجاب الغباري» كان قطيرات

(1104) J. M. Palais and H. Sigurdsson, «Petrologic Evidence of Volatile Emissions from Major Historic and Pre-Historic Eruptions,» in: A. Berger, R. E. Dickinson, John W. Kidson, eds., *Understanding Climate Change* (Washington, DC: American Geophysical Union, 1989), pp. 31-53.

(1105) S. Self, «Effects of Volcanic Eruptions on the Atmosphere and Climate,» in: Marti and Ernst, eds., *Volcanoes and the Environment*, pp. 152-174.

(1106) R. U. Bryson, «Late Quaternary Volcanic Modulation of Milankovitch Climate Forcing,» *Theoretical and Applied Climatology,* vol. 39 (1988), pp. 115-139.

(1107) G. C. Bond, and R. Lotti, «Iceberg Discharges into the North Atlantic in Millennial Time Scales during the Last Glaciations,» *Science,* vol. 267 (1995), pp. 1005-1010.

(1108) O. Petterson, «Climatic Variations in Historic and Prehistoric Time,» *Svensk Hydrografisk-Biologiska Komm*, Skrifter 4 (1914), pp. 1-25.

(1109) H. H. Lamb, «Volcanic Dust in the Atmosphere with its Chronology and Assessment of its Meteorological Significance,» *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, Series A vol. 266 (1970), pp. 425-533.

رذاذاتية وليس رماداً صافياً. ولقد حثت بيانات هذا الانفجار على قياس الإشعاع الشمسي الداخل المتناقص الذي تبع انفجارات سانتا ماريا (Santa Maria) (غواتيمالا (Guatemala)) عام 1902 وكاتمي (Katmai) (ألاسكا (Alaska)) عام 1912. ثم كان هناك هدوء لأكثر من خمسين عاماً بدون رذاذ بركاني بارز للستراتوسفير حتى هاج غونونغ آغونغ (في بالي بإندونيسيا) عام 1963[1110]. وعلى الرغم من أنه كان انفجاراً صغيراً إلا إنه انتج 7 ملايين طن من غاز SO_2، تشتت بفعل المناخ الموسمي فوق النصف الجنوبي للكرة الأرضية. وبرد التروبوسفير بـ 0.5 درجة مئوية، ودفئ الستراتوسفير بضع درجات. وأصدر انفجار بركاني صغير آخر، اسمه إل شيكون EL Chicon (المكسيك) ما مقداره 0.5 كيلومتر مكعب من الصهارة مع 11 ـ 13 مليون طن من غاز SO_2 في فترة قصيرة. وقد تزامن ذلك مع أحداث إل نينو ما جعل حساب كمية الابتراد بسبب انبعاث الرذاذات أمراً صعباً.

لقد استدل على انفجارات كثيرة أكبر من تلك المسجلة في الأزمنة التاريخية من بيانات حلقات الأشجار السنوية التي عكست نمواً أبطأ خلال أزمنة باردة، ومن الغبار والأحماض في غرينلاند، ولب الجليد في القطب الجنوبي. وعلى الرغم من أن الانفجارات المسجلة تاريخياً مثل تامبورا (إندونيسيا) عام 1815 تتعلق بذروات كبريت ليس منشأها رذاذ البحر (Sea Spray) فلم يكن لبعض تراكيز الرذاذات المتصاعدة من براكين في الجليد القطبي، عام 1809 و1258 مصدراً بركانياً معروفاً[1111]. وربما كانت هذه الانفجارات الغامضة انفجارات محلية مثل انفجار بركان إل شيشون (El Chichón) الذي أنتج كميةً صغيرة من الصهارة مع ضرر قليل وبعض الاصابات. غير أنها كان يمكن أن تنتج كمية كبيرة من SO_2. ولعله كان لتزامن انفجار بركاني كبير مع تناقص في نشاط كلف الشمس، أثر في ابتداء العصر الجليدي الصغير في أواخر القرن الثالث عشر؟

أطلق بركان بيناتوبو (Pinatubo) عام 1991 في لوزون (الفيليبين) خمسة

(1110) S. Self, and A. J. King, «Petrology and Sulfur and Chlorine Emissions of the 1963 Eruption of Gunung Agung, Bali, Indonesia,» *Bulletin of Volcanology*, vol. 58 (1996), pp. 263-286.

(1111) R. B. Strothers, «Climatic and Demographic Consequences of the Massive Volcanic Eruption of 1258,» *Climate Change*, vol. 45 (2000), pp. 361-374.

كيلومترات مكعبة من الصخور المنصهرة خلال ثلاث ساعات ونصف الساعة فقط من ثورته في 12 حزيران/ يونيو 1991. والبركان كاتمي (Katmai) (ألاسكا) هو الأكثر من لفظ من الصخور المنصهرة في القرن العشرين (11 كيلومتراً مكعباً) وكانت هذه الثورات البركانية مجرد انفجارات صغيرة. يذكر أن بركان بيناتويو أصدر أكبر كمية من SO_2 إلى الستراتوسفير حيث تم قياس ذلك بآلات حديثة[1112]. وبلغت أعمدة الرماد والغبار الناتجة من الانفجار 35 كيلومتراً في ارتفاعها و28 مليون طن من رذاذات حمض الكبريتيك التي تشكلت في الغلاف الجوي. وكانت هذه الكمية مساوية تقريباً لتلك المستمدة من بركان كراكاتوا عام 1883. انتشرت سحابة رذاذاته حول الأرض في ثلاثة أسابيع، ولأن بركان بيناتوبو استوائي، غطت سحابات رذاذاته الأرض بأكملها خلال سبعة أشهر من لحظة انفجاره. واستمر هذا الحال أكثر من 18 شهراً، مسبباً غروباً وشروقاً مذهلين للشمس، وشمساً غائمة (خاتم بيشوب) وابتراداً عالمياً من 0.5 إلى 0.7 درجة[1113] مئوية. ودفء طبقة الستراتوسفير الدنيا درجتين إلى ثلاث درجات مئوية بسبب امتزاز الإشعاع القادم من قبل الرذاذات. وكانت هناك فيضانات إلى جانب نهر الميسيسبي عام 1993، وجفاف في منطقة الساحل في أفريقيا. وكان في الولايات المتحدة الأميركية عام 1992 ثالث أبرد صيف وثالث أمطر وأرطب صيف منذ 77 عاماً. وتطلب أربع سنوات ليعود الغلاف الجوي إلى مستوى رذاذاته الطبيعي. ظهر الابتراد كونياً كمناخ إقليمي متغير وكنماذج طقس حتى منتصف 1995[1114]. ثار مرتفع هدسون في جنوب تشيلي في آب/ أغسطس عام 1991 عندما وصل سحاب رذاذات بركان بيناتوبو إلى القطب الجنوبي. وكان هناك تناقص دراماتيكي في الأوزون فوق القطب الجنوبي فاتسع «ثقب الأوزون» في النصف الجنوبي للكرة الأرضية مغطياً مساحة لا سابقة لها بلغت 27 مليون كيلومتر مربع. ودخل الهواء الدافئ الاستوائي الغني بالأوزون في أواخر 1992 الغلاف الجوي لأنتاركتيكا وأوقف استنزاف الأوزون. لقد كان بركان مرتفع

(1112) G. J. S. Bluth [et al.], «Global Tracking of the SO_2 Clouds from the June 1991 Mount Pinatubo Eruptions,» *Geophysical Research Letters*, vol. 19 (1992), pp. 151-154.

(1113) J. Hansen [et al.], «Potential Climate Impact of the Mount Pinatubo Eruption,» *Geophysical Research Letters,* vol. 19 (1992), pp. 215-218.

(1114) J. Hansen [et al.], «A Pinatubo Climate Modeling Investigation,» in: Giorgio Fiocco, Daniele Fu'a and Guido Visconti, *The Mount Pinatubo Eruption: Effects on the Atmosphere and Climate* (New York: Springer, 1996), pp. 233-272.

بيناتوبو بركاناً صغيراً نسبياً، إلا أنها كانت المرة الأولى التي استعملت فيها الآلات الحديثة لقياس/رذاذات SO_2 البركانية، وفتحت هذه التجربة الطبيعية نافذة على انفجارات أكبر.

كان ثوران تامبورا (إندونيسيا) عام 1815 أحد الأمثلة المشهورة عن الابتراد الذي يسببه بركان[1115]. فلقد أطلق في انفجاره 30 كيلومتراً مكعباً من الصخر المصهور على الأقل و100 مليون طن من رذاذات حمض الكبريتيك خلال فترة 20 ساعة، في الحادي عشر من نيسان/أبريل عام 1815. وهلك فيه حوالى 90000 شخص على جزيرة سومبارا (Sumbara) وحولها في بحر جافا. وكان الانفجار قوياً جداً حتى أن جبل تامبورا انشطر إلى نصفين وطار النصف العلوي منه بعيداً، فانخفض علوه من 4300 متر إلى 2850 متراً. بقيت المنطقة مظلمة وساخنة أياماً فاندفعت جيوب من هواء بارد حولها. كان ظلام النجوم ملاحظاً في النصف الشمالي من الكرة الأرضية بين السادس والعشرين من أيلول/سبتمبر 1815.

لكن البركان صبغ غروب الشمس بلون أحمر ـ أصفر ـ أبيض رائع بسبب سحب الرذاذات وهباءات الغبار من الدخان وغبار التروبوسفير والستراتوسفير. على الرغم من بنيامين فرانكلين سجل العلاقة بين البراكين والسنوات المظلمة الباردة عام 1784، غير أنه لم يحقق أي ربط بين البراكين والطقس غير العادي، لاسيما عام 1816. هذا وخَفّضَت الرذاذات البركانية ضغط الهواء في مناطق متوسطة البعد عن خط الاستواء فوق المحيط الأطلسي الشمالي، ودفعت أعاصير متوسطة القوة نحو الجنوب. فاندفع النطاق منخفض الضغط الذي يقع حالياً فوق آيسلاندا جنوباً فوق إنجلترا. ومع كل ذلك كان تامبورا أحد الانفجارات التاريخية الكبرى، غير أنه كان معتدلاً ضمن مدى الانفجارات البركانية[1116]. بيّن لب الجليد وجود فترة من تساقط رذاذ بركاني بين عامي 1809 ـ 1810 من بركان سري مع ابتراد خفيف[1117]. حدث هذا قبل الابتراد

(1115) C. R. Harington, *The Year without a Summer? World Climate in 1816* (Ottawa: Canadian Museum of Nature, 1992).

(1116) S. Self [et al.], «Magma Volume, Volatile Emissions and Stratospheric Aerosols from the 1815 Eruption of Aerosols,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), L20608, doi: 1029/2004GL020925.

(1117) M. Legrand and R. J. Delmas, «A 200-Year Continuous Record of Volcanic H_2SO_4 in the Antarctic Ice Sheet,» *Nature*, vol. 327 (1987), pp. 671-676.

الذي سببه تامبورا. وحدث الابترادان خلال دالتون الأدنى (1795 ـ 1823) عندما كان نشاط الكلف الشمسية منخفضاً[1118]. إضافةً إلى ذلك، غيّرت الشمس موضعها ضمن النظام الشمسي خلال دالتون الأدنى وماوندر الأدنى. وهذه عملية دورية تحدث كل 180 إلى 200 عام. وخلال خدعة الجاذبية هذه كانت الشمس تدور حول مركز كتلة النظام الشمسي. ولا يعرف أثر هذا التذبذب[1119] على مناخ الأرض. من ناحية أخرى جرى قياس التذبذب الجاذبي للكواكب خارج النظام الشمسي أيضاً. لقد حدثت هذه التذبذبات في أعوام 1832 و1811 و1990، واستمرت كلف الشمس خلال ماوندر الأدنى لعدد من الدورانات الشمسية التي بيّنت تضاؤلاً بطيئاً ونقلاً شمسياً مخفضاً ونورانية شمسية. وخلال دالتون الأدنى، مرت سنة 1810 بدون كلف شمسية. واستمرت الدورات الشمسية 14 عاماً، مقارنةً بالمتوسط الحديث المكون من 11 عاماً. هذا متناسق مع النور الشمسي المتناقص والمناخ الأبرد على الأرض. وبعد انفجار تامبورا، تمكن الفلكيون حول العالم من رؤية كلف الشمس بالعين المجردة. واستمدت الكلف الكبيرة هذه من النشاط المغنطيسي نفسه الذي أنتج مناطق شمسية نيّرة[1120].

كان التجمع المتزامن لحدثين على الأقل من هذه الأحداث (تامبورا ودالتون) وربما حدث ثالث (الحركة الشمسية للمد والجزر) سيفاقم الابتراد في المراحل الأخيرة من العصر الجليدي الصغير، ثم كانت ذروة دورة كلف الشمس لفترة 11 سنة في عام 1816. فكان هناك 35 بقعة شمسية فقط بمقارنة بـ 100 بقعة في الذروة الشمسية الطبيعية. أظهر الحمض الكبريتيكي لدخان البراكين في لب جليد غرينلاند والقطب الجنوبي أن غطاء الرذاذات شمل نصفي الكرة الأرضية. وانخفضت درجة الحرارة الكونية درجة مئوية واحدة على الأقل. سمّيت السنة اللاحقة بـ «سنة بلا صيف»[1121]. كان الجو فيها بارداً وغائماً

(1118) J. Lean and D. Rind, «Evaluating Sun-Climate Relationships Since the Little Ice Age,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, vol. 61 (1999), pp. 25-36.

(1119) الحركة الشمسية الجمودة، التي يسببها الدفع الجاذبي للكواكب الخارجية الكبرى، وبشكل رئيسي المشتري وزحل.

(1120) صيخد: بقعة لامعة على قرص الشمس.

(1121) Henry Stommel and Elizabeth Stommel, *Volcano Weather: The Story of 1816, The Year Without a Summer* (Newport, RI: Seven Seas Press, 1983).

وممطراً في عموم أوروبا، أخفقت فيه الزراعة، وحدثت مجاعة[1122]. ثم انخفضت درجات الحرارة حول خليج الهرسون من 5 إلى 6 درجات، وتجمد الخليج باكراً حتى أن شحن البضائع في الصيف كان معطلاً[1123]. تجمدت كذلك منطقة «نيو إنغلند» في الولايات المتحدة الأميركية وأغشاها ثلج كثيف[1124]. ثم عكس الثلج الحرارة فانخفضت، وكان التصور باحتمال تطور غطاء ثلجي دائم أمراً وارداً. وبصورة عامة طالت فترة الابتراد فأصبح عام 1816 عاماً كئيباً في نصف الكرة الشمالي من الأرض. وتصف السجلات المعاصرة، والملاحظات اليومية[1125] والصحف، المجاعات، والجفاف، والثلج المدمر، والمطر والرياح العاصفة، والعواصف والأمطار بعد ربيع وصيف باردين غير طبيعيين. ولم تذب ثلوج الصيف، كما لاحظ الناس لون السماء غير العادي والأحجام الكبيرة لكلف الشمس. كانت معظم زراعة النصف الشمالي للكرة الأرضية هي مجرد زراعة للبقاء، وبالتالي كان عدم إنتاج المحاصيل يعني صعوبة ومجاعة وموتاً[1126].

بالتأكيد يمكن أن يكون الغبار والحمض الكبريتيكي المنبعث من ثوران سانتوريني[1127][1128] في القرنين السادس عشر والسابع عشر قبل الميلاد قد سبّب أول طاعون من الثمانية التوراتية[1129]. فتقلص عدد الأحياء، والصيد،

(1122) John D. Post, *The Last Great Subsistence Crisis in the Western World* (Baltimore, MA: Johns Hopkins University Press, 1977).

(1123) A. J. W. Catchpole and M. A. Faurer, «Summer Sea Ice Severity in Hudson Straight 1751-1870,» *Climate Change*, vol. 5 (1983), pp. 115-139.

(1124) C. Oppenheimer, «Climatic, Environmental and Human Consequences of the Largest Known Historic Eruption: Tambora Volcano (Indonesia) 1815,» *Progress in Physical Geography*, vol. 27 (2003), pp. 230-259.

(1125) أبقى توماس جفرسون سجلات في منزله في مونتيتشلو، فرجينيا. وسجلت ماري ولستونكرافت شيلي (السادس عشر من حزيران/يونيو 1816) الطقس الكريه، وبيوت الولادة في جنيف أدت إلى الكلام عن قصص أشباح و كنتيجة، نشرت ماري شيلي سنة 1818 **قصة فرانكنشتاين**.

(1126) فسرت ماري سنة التعذيب 1816 كعقاب من إله غاضب.

(1127) D. M. Pyle, «Ice-Core Acidity Peaks, Retarded Tree Growth and Putative Eruptions,» *Archeometry*, vol. 31 (2007), pp. 88-91.

(1128) S. W. Manning [et al.], «Chronology for the Aegean Late Bronze Age 1700-1400 B. C.» *Science,* vol. 312 (2006), pp. 565-569.

(1129) S. I. Trevisanto, «Six Medical Papyri Describe the Effects of Santorini's Volcanic Ash, and Provide Egyptian Parallels to the So-Called Biblical Plagues,» *Medical Hypotheses*, vol. 66 (2006), pp. 193-196.

والحصاد، وكانت مياه الشرب ملوثة بالرماد والحمض، فعانى كثير من الناس الحروق، وكانت مشكلات العيون والتنفس والجلد، من المظاهر العامة المنتشرة. وتم بعدئذٍ تطوير طرائق طبية لمحاولة معالجة هذه الأمراض المزمنة[1130]. وباختصار أدى هذا البركان إلى انهيار الامبراطورية المينوية وتمزق اجتماعي ـ سياسي شديد في مصر[1131][1132].

إننا نعيش في فترة سكون بركاني. ولو استعملت نماذج المناخ إياها فقط 15 في المئة من براكين العالم ذات معدلات الانفجار المنخفضة خلال السنين المئة الماضية، إذن لكانت هذه النماذج صالحة.

الجليد، والبراكين والزلازل

نمت القلنسوة الجليدية القطبية (Polar Ice Cap) خلال الـ 650000 عام الماضية لتصبح أكبر مما هي عليه اليوم في سبع دهور مختلفة. والمعروف أن كميات كبيرة من الماء في محيطات مجمدة تحوي قلنسوات جليدية قارية وتجلدات. وفي كل مرة يحدث فيها ذوبان، يتراجع الجليد ويرتفع مستوى سطح البحر. ونتج من هذه التغيرات في توزيع مياه الأرض تغيرات سريعة متكررة في مستوى سطح البحر، وأدت إلى انخفاض يتراوح بين 130 متراً وسبعة أمتار دون مستوى سطحه اليوم. كان للتحميل والتفريغ هذين أثر في البراكين والفوالق[1133][1134]. والشقوق البحرية. وازداد التفجر البركاني خلال 2.67 مليون عام الماضية. فهل كان ذلك تزامناً أم ارتباطاً؟ وبينما ذابت صفائح الجليد، وتحددت قشرة الأرض، واستعادت الفوالق نشاطها، ازداد النشاط

(1130) S. I. Trevisanto, «Ancient Egyptian Doctors and the Nature of the Biblical Plagues,» *Medical Hypotheses,* vol. 65 (2005), pp. 811-813.

(1131) S. Marinatos, «The Volcanic Destruction of Minoan Crete,» *Antiquity,* vol. 13 (1939), pp. 425-439.

(1132) H. Sigurdsson, S. Carey and J. D. Devine, «Assessment of Mass, Dynamics, and Environmental Effects of the Minoan Eruption of Santorini Volcano,» in: *Thera and the Ancient World-Proceedings of the Third International Congress*, edited by D. A. Hardy [et al.] (London: The Thera Foundation, 1990), pp. 100-112.

(1133) W. J. McGuire [et al.], «Correlation between the Rate of Sea-Level Change and Frequency of Explosive Volcanism in the Mediterranean,» *Nature*, vol. 399 (1997), pp. 473-476.

(1134) W. J. McGuire, «Changing Sea Levels and Erupting Volcanoes: Cause and Effect?,» *Geology Today*, vol. 8 (2008), pp. 141-144.

الزلزالي، وانخفض الحمل على البراكين. حدث هذا الارتداد في الفترة ما بين الجليدية الحالية، في اسكندنافيا، واسكوتلندا، وكندا، بعد ذوبان صفائح جليد وصلت سماكتها إلى 5 كيلومترات، خلال الـ 14000 عام الماضية. وجلب الاحترار الذي أنذر بالفترة ما بين الجليدية الحالية (قبل حوالى 10000 عام) نشاطاً بركانياً في آيسلاندا[1135]. وحفز التناقص في حمل الصخور المنصهرة في الأسفل عند ذوبان قلنسوة الجليد النشاط البركاني. وهكذا على مستوى عالمي تزايد تفجر البراكين البعيدة عن خط الاستواء قبل 12000 و7000 عام مضت نتيجة لذوبان صفائح الجليد. ولقد أنتج هذا تزايداً في تركيز CO_2 عن 40 ppmv، فالنشاط البركاني المرتفع خلال فترات ما بين الجليدية ساعد في الحفاظ على محتوى CO_2 عال[1136].

وتزايد النشاط البركاني في كاليفورنيا في الفترات ما بين الجليدية خلال الـ 800000 عام الماضية. هذا وقد وجدت نماذج مشابهة من البراكين المغطاة بالجليد في كاسكيد رينجز (Cascade rangers) (الولايات المتحدة الأميركية) والآنديز (Andes)[1137].

كشف مؤخراً عن توجه مشابه حصل في البحر الأبيض المتوسط حيث ارتبطت تغيرات مستوى سطح البحر خلال الـ 80000 عام الماضية باندفاعات من النشاط البركاني[1138] ومع نشاط بركاني أخير أكثر وضوحاً حصل خلال الـ 15000 عام الماضية. وعليه، اقترح في عام 1979[1139][1140] أن تغير المناخ هو عامل محفز لانفجارات بركانية كبيرة. وقد كشفت العلاقة بين ذوبان صفائح

(1135) G. E. Sigvaldason, K. Annertz and M. Nilsson, «Effect of Glacier Loading/Deloading on Volcanism: Post Glacial Volcanic Production Rate of the Dyngjfjöll Area, Central Iceland,» *Bulletin of Volcanology*, vol. 54 (1992), pp. 385-392.

(1136) P. Huybers and C. Langmuir, «Feedback between Deglaciation and Volcanic Emissions of CO_2,» 2007, < http://environment.harvard.edu/docs/faculty_pubs/huybers-feedback.pdf > .

(1137) A. F. Glazner [et al.], «Fire or Ice: Anticorrelation of Volcanism and Glaciations in California Over the Past 800,000 Years,» *Geophysical Research Letters*, vol. 26 (1999), pp. 1759-1762.

(1138) W. J. McGuire [et al.], «Correlation between the Rate of Sea-Level Change and Frequency of Explosive Volcanism in the Mediterranean,» *Nature*, vol. 399 (1997), pp. 473-476.

(1139) M. R. Rampino, S. Selfand R. W. Fairbridge, «Can Rapid Climate Change Cause Volcanic Eruptions?,» *Science*, vol. 206 (1979), pp. 826-829.

(1140) W. J. McGuire, «Changing Sea levels and Erupting Volcanoes: Cause and Effect?,» *Geology Today*, vol. 8 (2008), pp. 141-144.

الجليد والنشاط البركاني المتزايد أيضاً في لب جليد غرينلاند، وبالتالي فإن الظاهرة تبدو عالمية[1141].

البراكين غير المستقرة يمكن أيضاً أن تنهار. وتنتج المواد المتفجرة من انهيارات هذه البراكين سحباً واسعة الانتشار. كما إن فقدان المواد المنصهرة تحت البركان إلى هذه الدرجة يسبب المزيد من الانهيار[1142][1143][1144]. ولقد أجريت تجارب عدة لتبيان أن الصدوع أو الفوالق بعد الانفجار البركاني تشوه بنيته، ويؤدي هذا إلى مزيد من الانهيار[1145][1146][1147][1148]. تقع معظم هذه الانهيارات ضمن مدى محلي، غير أن الانهيارات الرئيسية التي تحصل في مناطق جليدية تقع بسبب حمل الجليد المتناقص، ودخول المياه المنصهرة إلى قاعدة الصهارة، وإلى الأمطار الشديدة[1149]. يبدو أن معظم الانهيارات البركانية منذ 5 ملايين عام، حدثت في براكين مغطاة بالجليد (Ice Capped) بعد الذروات الجليدية الرئيسية والمستحثة من الاحترار الكوني. وقد دمرت فترات من الأمطار الشديدة مثل تلك المتعلقة بإعصار متش عام 1998، وسط أميركا. وكان هناك انهيال واسع فوق مناطق كبيرة، فانهار بركان كاسيتا في نيكاراغوا مسبّباً موت 2500 شخص[1150].

(1141) G. A. Zielinski, «Use of Paleo-Records in Determining Variability within Volcanism-Climate System,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 19 (2000), pp. 417-438.

(1142) W. J. McGuire [et al.], «Correlation Between the Rate of Sea-Level Change and Frequency of Explosive Volcanism in the Mediterranean,» *Nature,* vol. 399 (1997), pp. 473-476.

(1143) B. Van Wyk de Vries, «A Gravitational Spreading Origin for the Socompa Debris Avalanche,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 105 (2001), pp. 225-247.

(1144) J. E. Clavero [et al.], «Evolution of Parinacota Volcano, Central Andes, Northern Chile,» *Revista Geologica de Chile*, vol. 31 (2002), pp. 317-347.

(1145) B. Van Wyk de Vries and P. W. Francis, «Catastrophic Collapse at Stratovolcanoes Induced by Gradual Volcano Spreading,» *Nature*, vol. 387 (1997), pp. 387-390.

(1146) A. M. F. Lagmay [et al.], «Volcano Instability Induced by Strike-Slip Faulting,» *Bulletin of Volcanology,* vol. 62 (2000), pp. 331-346.

(1147) V. Acocella and A.Tibaldi, «Dike Propagation Driven by Volcano Collapse: A General Model Tested at Stromboli, Italy,» *EOS*, vol. 86 (2005) (52).

(1148) G. Norini and A. M. F. Lagmay, «Deformed Symmetrical Volcanoes,» *Geology*, vol. 33 (2005), pp. 605-608.

(1149) L. Capra, «Abrupt Climate Changes as Triggering Mechanisms of Massive Volcanic Collapses,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 155 (2006), pp. 329-333.

(1150) K. M. Scott [et al.], «Catastrophic Precipitation-Triggered Lahar at Casita Volcano, Nicaragua: Occurrence, Bulking and Transformation,» *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 30 (2004), pp. 59-79.

يتأثر بعض النشاط البركاني بالطقس، فقد حدثت معظم انفجارات من بركان بافلوف (Pavlof) الموجودة في مضائق بيرنغ (Bering Straits)، في أشهر خريفية وشتوية[1151]. وربما تحفز الانفجارات بأنظمة طقس منخفضة الضغط، فقد رفع انخفاض الضغط مستوى المياه حول بافلوف بمقدار 30 سنتيمتراً، ورفعت رياح العواصف مستوى المياه أكثر. وربما ضغط الحمل المتزايد للبركان الصخور المنصهرة إلى أعلى مثل معجون أسنان يضغط خارج الأنبوب. ويبدو من خلال دراسة أكثر شمولاً لـ 3000 انفجار حصل بين الأعوام 1700 وإلى 1990، أنه هناك توجه موسمي للانفجارات البركانية حول الكوكب يزداد في الفترة ما بين تشرين الثاني/ نوفمبر وآذار/ مارس[1152]. وهذا مرتبط بالتحركات السنوية للمياه من المحيطات إلى القارات. وحتى التيفون (إعصار استوائي في منطقة الفلبين أو بحر الصين) يمكن أن يسبب زلازلاً، إذ يحدث في شرق تايوان نوع غير عادي من الزلازل عندما يكون هناك تيفون[1153].

تغور الأراضي الواسعة المحملة بالجليد، ويتعلق هذا الغور بنشاط الزلازل المتزايد. ومع ذوبان الجليد، ترتّد الأرض وتضرب الزلازل مرة أخرى. كان شمال أوروبا وشمال أميركا الشمالية منطقتين تغطيهما صفائح الجليد إلى سماكة 5 كيلومترات. بدأت صفائح الجليد هذه بالذوبان قبل 14700 عام مضت، وإن اسكندينافيا واسكوتلندا وشمال أميركا ترتفع الآن وتنتج زلازل[1154][1155].

إن ذوبان القلنسوة الجليدية يحدث الزلازل، وربما أنتج الذوبان الجليدي السريع في جنوب غرب ألاسكا زلزال عام 1979 الذي كانت درجته 7.2 على مقياس ريختر. هذا وتحمل مناطق مثل الألب والهمالايا وجبال الروكي (Rocky Mountains) والآنديز (Andes) وجنوب الألب في نيوزيلندا خطرَ زلازل عالياً.

(1151) S. R. McNutt and R. J. Beavan, «Volcanic Earthquakes at Pavlof Volcano Correlated with the Solid Earth Tide,» *Nature*, vol. 294 (1981), pp. 615-618.

(1152) B. G. Mason [et al.], «Seasonality of Volcanic Eruptions,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 109 (2004), B04206, doi: 10.1029/2002JB002293.

(1153) W. -N. Wang [et al.], «Mass Movements Caused by Recent Tectonic Sctivity: The 1999 Chi-Chi Earthquake in Central Taiwan,» *Island Arc*, vol. 12 (2003), pp. 325-334.

(1154) N. A. Mörner, «Intense Earthquakes and Seismotectonics as a Function of Glacial Isostasy,» *Tectonophysics,* vol. 188 (1991), pp. 407-410.

(1155) P. Wu, P. Johnston and K. Lambeck, «Glacial Rebound and Fault Instability in Fennoscandia,» *Geophysical Journal International*, vol. 139 (2002), pp. 657-670.

وإن أحد أسباب ذلك هو تزامن التجلدات المنصهرة مع الفوالق النشيطة[1156] موقعياً، والسبب الآخر هو أن الانضغاط يسبب عدم استقرار في الجبال. ويمكن للزلازل القوية أن تزيح ركامات كبيرة من الترسبات المتراكمة حول حافة الأراضي الواسعة، مثل غرينلاند. ويمكن للمنحدرات الأرضية تحت المياه الناتجة أن تولّد تسونامي كبيراً، مثل تلك التي تبعت انزلاقات ستوريجا (Storrega) قبل 8000 عام على الساحل الغربي للنرويج. وكان ارتفاع تسونامي من ستوريجا (Storrega) 20 متراً عندما ضرب جزر شتلاند (Shetland Islands) وستة أمتار على امتداد الساحل الشرقي لاسكوتلندا[1157].

منذ أن انقضى التجلد الأخير قبل 14000 عام، ارتفع مستوى سطح البحر نحو 130 متراً، وأعاد تحميل الحواف القارية من المياه المنصهرة تنشيط الفوالق مما حفز حصول زلازل حول حواف أحواض المحيط. وقد حفز كثير من هذه الزلازل انزلاقات تحت بحرية سبّبت عدداً من التسونامي. إن صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي هي ليست على أرض قارية وهي مثبتة في جزر تحت الجليد. ولقد ذاب ثلثا صفيحة الجليد غرب القطب الجنوبي خلال الـ 14000 عام الماضية ومنذ العصر الجليدي الأخير، وسيذوب ما تبقى من الجليد، وينفصل مسبباً ارتفاعاً لمستوى سطح البحر مقداره سبعة أمتار. ولن يسبب ذلك طوفاناً في المناطق الساحلية المنخفضة فحسب، بل سيُحدث نشاطاً زلزالياً متزايداً مع عدد من التسونامي. وليست هذه العملية نتيجة احترار أواخر القرن العشرين، بل هي النتيجة النهائية لزيادة 130 متراً في مستوى سطح البحر منذ العصر الجليدي الأخير[1158].

مع تغيرات في الطقس والمناخ، أعيد تدوير تريليونات من الأطنان من المياه حول المحيطات وبين نصفي الكرة الأرضية. والمعروف أن شهر تشرين الثاني/نوفمبر هو وقت نشاط المذنبات المتزايد. وفي النصف الشمالي للكرة الأرضية، يعدّ هذا الشهر خطيراً بخاصة مع الطقس الخريفي الذي يزيد غالباً من

(1156) J. P. M. Syvitski, M. S. Stoker and A. K. Cooper, «Seismic Facies of Glacial Deposits from Marine and Lacustrine Environments,» *Marine Geology*, vol. 143 (1997), pp.1-4.

(1157) A. G. Dawson, D. Long and D. E. Smith, «The Storegga Slides: Evidence from Eastern Scotland for a Possible Tsunami,» *Marine Geology*, vol. 82 (1988), pp. 279-293.

(1158) J. M. Sauber and B. F. Molnia, «Glacier Ice Mass Fluctuations and Fault Instability in Tectonically Active Southern Alaska,» *Global and Planetary Change,* vol. 42 (2004), pp. 279-293.

تردد الزلازل ومن النشاط البركاني. فإذا كنت ممّن ينتابهم الوسواس ويأخذهم هاجس الإنذار بالخطر، مع الرعب من نواميس البيئة حولك، فلا تعدّ شهر تشرين الثاني من بين أشهر السنة.

اهتزاز نظرية الاهتزاز لميلانكوفتش

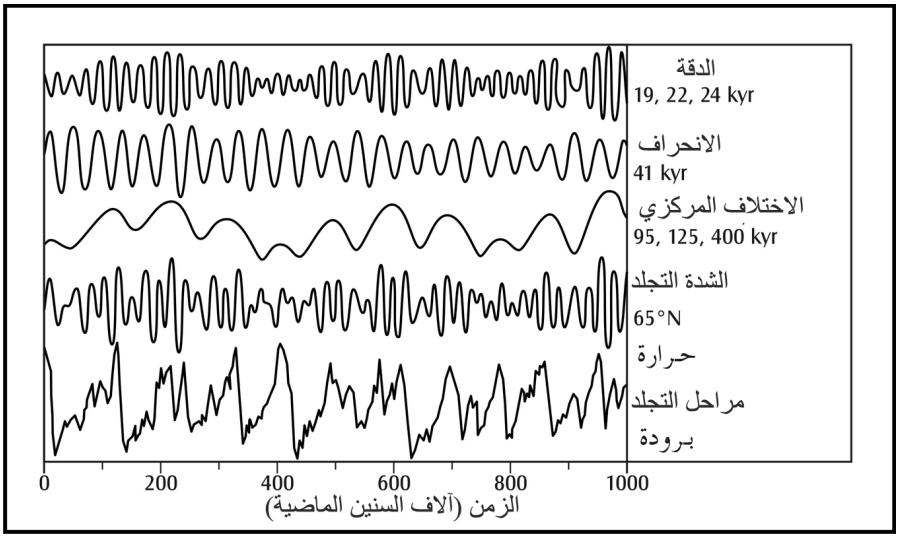
أعاد ميلوتين ميلانكوفتش (Milutin Milankcovitch) في عشرينيات القرن الماضي صياغة أفكار عن كيفية تشكل العصور الجليدية، فقال إن أشعة الشمس التي تسقط على أجزاء مختلفة من الأرض تتغير عبر الزمن، وإن قوى الأرض الدورانية (Rotaional Forces) هي سبب التغيرات. ولقد تمتع القطب الجنوبي بغطاء جليدي جزئي لعشرات الملايين من السنين، غير أن الصفائح الجليدية في النصف الشمالي للكرة الأرضية كانت قد تمّت وتضاءلت. اقترح ميلانكوفتش أن النمو والتضاؤل هذا يعتمد على الشمس إن كانت في الصيف قادرة على إذابة الجليد والثلج الذي تراكم في الشتاء. ففي بعض الأحيان، تكون الشمس قريبة وعالية في كبد السماء فيكون الذوبان سريعاً. والشمس الأبعد والأكثر انخفاضاً تترك الثلج طوال لصيف، فيتراكم عاماً بعد عام[1159].

تدور الأرض حول الشمس بمدار ليس دائرياً، فهو يتراوح بين قليل الاهليليجية (0.005) إلى كثيرها (0.058). وتستغرق دورة الأرض حول الشمس 100000 سنة. وقد أصبحت درجة الإهليلجية الآن 0.017، وهذا يبدّل المسافة بين الشمس والأرض، ويغيّر بالنتيجة مقدار الطاقة التي يستلمها سطح الأرض في مواسم مختلفة. وهذه الاختلافات تقدر بـ 3٪ عندما تقاس بين النقطة الأبعد عن الشمس (أفيليون (Aphelian)) والنقطة الأقرب منها (بريهيليون (Perihelion)). ويعني هذا الفارق (3٪) أن الأرض تتمتع بتغير مقداره 6٪ في النشاط الشمسي بين كانون الثاني/ يناير وتموز/ يوليو. وعندما يكون مدار الأرض أكثر إهليليجية، تكون الطاقة الشمسية في «بريهيليون» نحو 20 ـ 30 في المئة أكثر من أفيليون. تؤثر التغيرات الدورية في كمية الطاقة الشمسية التي تستلمها الأرض في المناخ. وإن الاختلاف في المركزية المدارية (Accentricity) يقترب الآن من أدنى الدورة. وفي عام 2008، في بريهيليون، كانت الأرض بعيدة عن

(1159) A. Berger, «Milankovitch Theory and Climate,» *Reviews in Geophysics,* vol. 26 (1988), pp. 624-657.

الشمس بمقدار 147,100,000 كيلومتر، وفي أفيليون، كانت بعيدة بمقدار 152,100,000 كيلومتر. وإن هذا الفرق بالمسافة (5 ملايين كيلومتر) يزيد بثلاث عشرة مرة على المسافة بين الأرض والقمر. إن لتغير مقداره 5 مليون كيلومتر أثراً كبيراً في مقدار الطاقة الشمسية التي تستلمها الأرض، ويؤثر بشدة في المناخ. وبعد حوالى 9000 عام، سيحدث البريهيلوين في النصف الشمالي للكرة الأرضية، وسيحدث الأفيليون في النصف الجنوبي منها، بخلاف ما هو عليه اليوم.

إن محور الأرض مائل. وإن هذا الميل هو انحراف محور الأرض نسبةً إلى مستوى مدارها حول الشمس. ويبلغ هذا الميل اليوم 23.5 درجة، ولكنه يراوح بين 24.5 إلى 21.5. وتحصل اهتزازات في ميل محور الأرض بشكل دوري مرة كل 41000 عام وبذلك تتغير الفوارق بين خط الاستواء والقطبين في كمية الطاقة الشمسية المستلمة.



الشكل 20: تبيّن دورات ميلانكوفتش العلاقة بين التغيرات المدارية، والقوة الشمسية، ودورات المناخ خلال السنين المليون الماضية. لقد حرك تجمع دورات ميلانكوفتش والنشاط الشمسي وغيره من الميزات الطبيعية دورات مناخية للمليون عام الأخيرة على الأقل.

تتذبذب الأرض عندما تغزل حول محورها. ويسمى هذا التذبذب بـ «السبق» (Precession) وهي حركة مشابهة لحركة المصرع أو «البلبل» (Spinning Top). وتتذبذب الأرض عندما يشير محورها إلى النجم الشمالي (بولارس (Polaris))

حتى إشارته إلى النجم فيغا، وبالتالي، عندما يؤشر المحور نحو فيغا، يمكن اعتبار هذا النجم هو النجم الشمالي. إن سبب هذه الذبذبة البطيئة لمحور الأرض مقارنةً بنجوم الخلفية يعود إلى السحب الجاذبي للكواكب القريبة. وإن للسبق دورة أمدها 21000 عام، وتزداد بمقدار 25 دقيقة في كل عام، إضافة إلى مبالغات بالتغايرات الموسمية. هذا وتمنع جاذبية القمر التغيرات الكبيرة في تذبذبات الأرض. وإن لم يكن للقمر علاقة بذلك، لأصبح للأرض مدى موسمي شديد التذبذب.

إن تجمع دورات الميلانكوفتش الثلاث هذه يؤثر في المناخ، إذ كلما كنا أقرب إلى الشمس، كان الجو أكثر حرارة. وعندما تكون الشمس فوق المناطق الاستوائية وبالقرب منها، تكون الطاقة الإشعاعية مساوية لـ 1412.9 واطاً لكل متر مربع (بريهيليون) و1321.5 واطاً لكل متر مربع (أفيليون). ويستعمل المتوسط 1367 واطاً لكل متر مربع في نماذج المناخ، وهذا يلغي آثار المدار على التغير في دخل الشمس. وهو أمر مهم بسبب النسبة الأكبر لمياه المحيط التي تقع في النصف الجنوبي للكرة الأرضية. وإن هذه المياه هي التي تمتص الطاقة الشمسية، وتختزنها وتحركها حول الأرض بشكل تيارات. وفي بعض الأحيان، عندما يكون الصيف في النصف الشمالي للكرة الأرضية هو الأبرد (على سبيل المثال، بعيداً عن الشمس بسبب التذبذب بالسبق والاختلاف المركزي الأكبر) ويكون الشتاء الأكثر دفئاً (على سبيل المثال، عند أدنى ميل محور الأرض)، يمكن للثلج أن يتراكم فوق مناطق كبيرة من النصف الشمالي للكرة الأرضية. وحالياً، التذبذب بالسبق هو فقط في الطور الجليدي، في حين لا يكون الميل والاختلاف المركزي بحالة مهيأة للتجلد، كما إن درجة الميل عندما كانت الأرض في الهولوسين، وكان الجو أدفأ من الآن، كانت 24 درجة (وهي 23.5 درجة اليوم)، وكان هناك 7٪ (6٪ اليوم) فرق في النشاط الشمسي بين كانون الثاني/ يناير وتموز/ يوليو.

لقد خضعت الأرض لتغيرات بيئية رئيسية في المناخ منذ 2.67 مليون عام. شملت هذه التغيرات الفصول، والرطوبة، وقلنسوات الجليد وغيرها. وإن حجم الجليد وتغيرات متوسط درجة الحرارة موثقة جيداً في كيمياء الأكسجين لأصداف المنخربات (وحيدات الخلايا) (Foraminifer)[1160]، وتغيرات حجم الجليد

L. E.Lisiecki and M. E. Raymo, «A Pliocene-Pleistocene Stack of 57 Globally Distributed (1160) Benthic ∂O^{18} Records,» *Paleoceanography*, vol. 20 (2005), pp. 1-17.

مرتبطة بالفترات الجليدية وما بين الجليدية المتبادلة[1161][1162]، وفي تغيرات الترسبات[1163]. وهنالك اقتراحات كثيرة في الأدبيات العلمية تشير إلى أن تغيرات كهذه يحركها مدار الأرض فقط (اختلاف مركزي لكل 100000 عام، وانحراف في المدار البيضوي لكل 41000 عام وتذبذب بالسبق لكل 21000 عام)[1164]. ويمكن أن يتحكم الانحراف في المدار أو في السبق بفترة الدورات المناخية، ولكن منذ 900000 سنة وحتى الآن استجاب نظام المناخ للسبق وللاختلافات المركزية وللتذبذب بالسبق لتصبح دورات المناخ متغيرة كل 41000 عام[1165][1166][1167].

استجاب المناخ منذ 900000 عام حتى الآن لمجموعة من الاختلافات المركزية في التذبذب بالسبق[1168] قال بعض الباحثين إن هذا التغير حدث قبل 620000 عام[1169]. وإن سبب هذا التغير في تكرار دورات المناخ قابل للنقاش[1170]. ولقد تابعت سجلات طبقات غبار الطلع، وتقاربات المجاميع

(1161) W. F. Ruddiman, «Orbital Forcing Ice Volume and Greenhouse Gases,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 22 (2003), pp. 1597-1629.

(1162) A. Berger and M. F. Loutre, «Théorie astronomique des paléoclimats,» *Comptes Rendus Geoscience*, vol. 336 (2004), pp. 710-709.

(1163) J. Tian [et al.], «Astronomically Modified Neogene Sediment Records from the South China Sea,» *Pleoceanography*, vol. 23 (2008), PA3210, doi: 10.1029/2007PA001552.

(1164) M. A. Maslin and A. J. Ridgewell, «Mid-Pleistocene Revolution and the «Eccentricity Myth»,» in: M. J. Head and P. L. Gibbard, eds., «Early-Mid Pleistocene Transitions: The Land-Ocean Evidence,» *Geological Society London Special Publications*, vol. 247 (2005), pp. 19-34.

(1165) N. G. Pisias and T. C. Moore, «The Evolution of Pleistocene Climate: A Time Series Approach,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 52 (1981), pp. 450-458.

(1166) D. Kroon [et al.], «Oxygen Isotope and S Million Years,» in: A. H. F. Robertson [et al.] eds., *Proccedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 160* ([n. p.]: Ocean Drilling Program, College Station, 1998), pp. 181-189.

(1167) W. F. Ruddiman, «Orbital Forcing Ice Volume and Greenhouse Gases,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 22 (2003), pp. 1597-1629.

(1168) R. Von Grafenstein [et al.], «Planktonic ∂O^{18} Records at Sites 976, 977, Alboran Sea: Stratigraphy, Forcing and Paleooceanographic Implications,» in: R. Zahn, M. C. Comas and A. Klaus, eds., *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results 161* ([n. p.]: Ocean Drilling Program, College Station, 1999), pp. 496-479.

(1169) M. Mudelsdee and K. Stattegger, «Exploring the Structure of the Mid-Pleistocene Revolution with Advance Methods of Tme-Series Analysis,» *Geologische Rundschau*, vol. 86 (1997), pp. 499-511.

(1170) M. A. Maslin and A. J. Ridgewell, «Mid-Pleistocene and the «Eccentricity Myth»,» in: M. J. Head and P. L. Gibbard, *Early-Middle Pleistocene Transitions: The Land-Ocean Evidence, Geological Society* (London: Special Publications 2005), vol. 247, pp. 19-34.

الحيوانية البحرية، والترسبات، والنظائر، في الأصداف والترسبات البحرية هذه التغيرات وبينت وجود دورات ـ البيوت الجليدية ـ الدفيئة[1171]، مهما كان أصلها.

تم اكتشاف دورات ميلانكوفتش لـ 100000 عام في ليجنيت (lignite) (ضرب من الفحم الحجري) يعود إلى 25 مليون عام في إيرلندا[1172]. واكتشفت دورات ميلانكوفتش من كيمياء الأكسجين لأصداف في ترسبات البحر العميقة، حتى تلك التي يبلغ عمرها مئات آلاف السنين. فهل كانت دورات ميلانكوفتش هي السائدة خلال دورات أمدها 100.000 سنة من تحولات المناخ في العصر الجليدي الحالي؟ فهذه الدورات ضعيفة على أي حال، وإذا انطبقت دورة ميلانكوفتش فوق تغير آخر، فقد تكون هناك فترات قصيرة وسريعة من الاحترار والابتراد. وستكون آثار الأشعة الكونية أكثر وضوحاً خلال دورات ميلانكوفتش الأبرد مما هي عليه خلال دورات أدفأ. ينخفض مستوى سطح البحر خلال التجلد. ويعرض هذا الانخفاض مناطق كبيرة من الجرف القاري إلى تغير في نمط تيارات المحيط، وترتفع اليابسة ويتغير مدار الأرض. وسوف تغلق مضائق مثل القناة الإنجليزية، ومضيق باس (Bass)، ومضيق تورس (Toress)، ومضيق بيرنغ وستتحول تيارات المحيط، مما يسبب إعادة توزيع للحرارة بواسطة المحيطات. وعلى الرغم من أن الجليد والثلج المتزايدين يعكسان مزيداً من الطاقة رجوعاً إلى الفضاء، إلا أن الكمية المتزايدة من الأرض المعرضة سينتج منها انعكاس أقل للطاقة الراجعة إلى الفضاء من هذه الأراضي الواسعة.

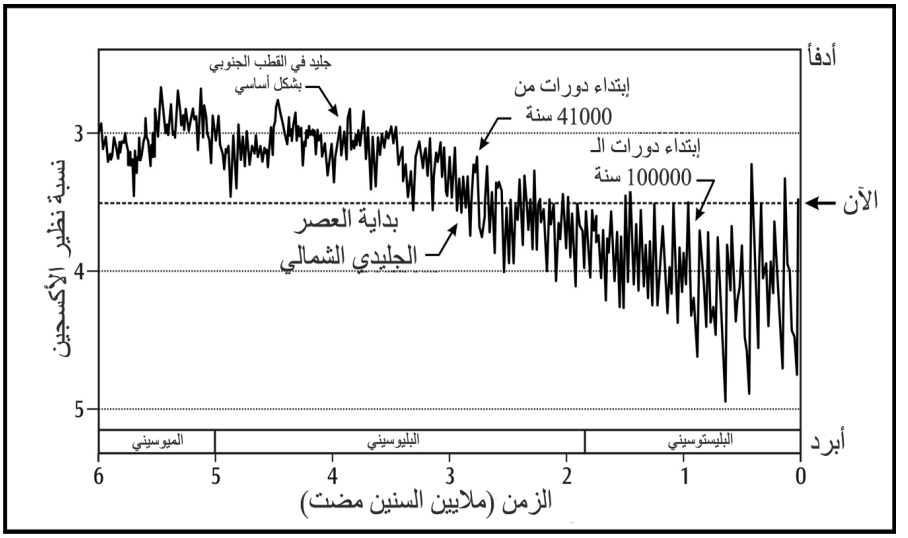
لقد عرفنا في سبعينيات القرن العشرين أن دورات ميلانكوفتش هي التي صنعت تغير المناخ. وهذا متفق عليه بالاجماع. وكما هو الوضع في جميع العلوم، فقد دمرت البيانات الجديدة النموذج الشائع. ولا يبدو أن دورات ميلانكوفتش وحدها كافية لبدء تجلد[1173]. وإن النشاط الشمسي وانعكاس

S. M. Joannin [et al.], «Changes in Vegetation and Marine Environments in the Eastern (1171) Mediterranean (Rhodes, Greece) during the Early and Middle Pleistocene,» *Journal of the Geological Society of London*, vol. 164 (2007), pp. 1119-1131.

D. J. Large, «A 1.16 Ma Record of Carbon Accumulation in Western European Peatland (1172) during the Oligocene from Ballymoney Lignite, Northern Ireland,» *Journal of the Geological Society of London*, vol. 164 (2007), pp. 1233-1240.

G. Roe, «In Defense of Milankovitch,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), (1173) L24703, doi: 10.1029/GL027817.

الحرارة من الجليد والثلج بإمكانهما أن يحفزا التجلد. كما أن تزايد تساقط الثلج الشتوي وتناقص الذوبان الصيفي يسببان انعكاساً أكبر لطاقة الشمس رجوعاً إلى الفضاء. ونقيضاً لذلك، تعكس الأتربة والنباتات طاقةً راجعة إلى الفضاء أقل بكثير.



الشكل 21: الستة ملايين عام الأخيرة من المناخ مبينة ابتراداً خلال 3 ملايين عام الأخيرة وتغيرات في دورات ميلانكوفتش مدتها 41,000 إلى 100,000 عام. ومنذ بداية التجلد الأخير قبل 2.67 مليون عام، كانت هناك تغيرات كبيرة جداً في درجة الحرارة (كما هو ظاهر بنسب نظير الأكسجين) والتحول غير المفسر من دورة ميلانكوفتش ذات الـ 41,000 عام إلى دورة ميلانكوفتش ذات الـ 100,000 عام قبل مليون عام. وإن المناخ الآن أبرد مما كان في البلايوسين والميوسين عندما كان الكوكب في دفئه الطبيعي للبيوت الزجاجية (على الرغم من وجود صفائح جليد القطب الشمالي).

قد تكمن المشكلة في نظرية دورة ميلانكوفتش في أن التذبذبات المدارية ليست هي المحرك الرئيس للمناخ، وأن الكمية السنوية للطاقة الشمسية بين نصفي الكرة الأرضية هي ضمن دورة 21000 عام، غير أنها ليست الدورة الجليدية الرئيسية. وتؤثر دورة الـ 41,000 عام في مقدار الإشعاع الشمسي الذي يدخل المناطق الاستوائية والقطبين. وتحولت الدورات الجليدية من 41000 عام إلى 100000 عام قبل مليون عام. ولم تعد دورة الـ 41000 عام دورة جليدية.

لماذا؟ فعلى الرغم من المقدار المنتظم تقريباً من الطاقة الشمسية الذي يضرب الأرض في دورة الـ 100000 عام، فإن هذه الدورة هي الدورة الجليدية الرئيسية. لماذا؟ لأن دورة الـ 100000 عام هي الأضعف بين دورات الميلانكوفتش الثلاث، وبالتالي فقد يكون من الصعب أن تحرك تغير المناخ.

دورات معلوقة	
متغير	تكتوني
143 مليون سنة	مجرّي
100000 سنة	مداري
41000 سنة	مداري
21000 سنة	مداري
1500 سنة	شمسي
210 سنة	شمسي
87 سنة	شمسي
22 سنة	شمسي
186 سنة	قمري
11 سنة	شمسي

الشكل 22: الدورات المجرية والميلانكوفتشية والشمسية والمد والجزر التي تحرك مناخ الأرض. تتغير المناخات دائماً ويحركها تنوع في عمليات دورية وعشوائية. وإن ما لا نراه في تغيرات مناخية سابقة هو تغير المناخ الذي تحركه تغيرات في CO_2.

كما يبيّن الاختلاف المركزي لمدار الأرض دورة من 400000 عام و100000 عام. وإن كلتا الدورتين متقاربتان في الطول، غير أن دورة الـ 400000 عام ليست مسجلة في سجلات المناخ[1174]. ويسبق مناخ الاحترار بنحو 10000 عام التغير في الإشعاع الشمسي الداخل الذي يفترض أن يكون هو السبب. وإن الأمر المدهش الذي لا يمكن شرحه جيداً بنظرية ميلانكوفيتش هو أن الانتقال

(1174) إذا ظننت أن هذا شرح مربك، حاول فهم شرح الـIPCC الصعب في: IPCC, *Climate Change: The Scientific Assesment*, edited by J. T. Houghton [et al.] (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1990),

من الواضح أن IPCC وغيرها، بما فيها المؤلف، لا يفهمون عمليات دورات ميلانكوفتش والتجلد.

من عصر ما بين جليدي إلى جليدي يحدث في ذروة درجة الحرارة، وعندما يكون ذوبان الجليد في قمته. وهناك تغيرات كبيرة في درجة الحرارة خلال الانتقال، وإن الأرض اليوم قريبة جداً من المستوى الذي حدثت فيه انتقالات ماضية غابرة.

تقول نظرية دورة ميلانكوفتش إن التغيرات في الإشعاع الشمسي الداخل، تحرك العصور الجليدية للأرض، وإن الآلية التي تحرك فيها التغيرات الطفيفة جداً في الإشعاع الداخل تغيراً مناخياً رئيسياً ليست واضحة. وتبيّن قياسات المناخ القديم المفصلة، إضافةً إلى ذلك، أن نهاية تجلد حصل قبل 135000 عام لم يحدث في الوقت نفسه الذي حدثت فيه تغيرات مدارية[1175]. ويتعلق المناخ بتذبذبات دورة ميلانكوفتش. لكننا لا نعرف كيف.

لقد بيّنت نظرية جديدة[1176] كيف أمكن لأمواج انتشار مرنانة (Resonant Diffusion Wave) في الشمس أن تفسر سجل درجات الحرارة القديمة (Palaeotemperture) خلال الـ 5.3 مليون عام الماضية مثل فترات دورة المناخ، والقوة النسبية لكل دورة، ونشأة فترة الـ 100000 عام. وإن لهذه النظرية الجديدة صعوباتها غير المحلولة.

قد يكون لمجموعة التغيرات في معدل الدوران مجتمعة مع معدل تكوّن القارة، وسلوك الشمس ومقدار ثاني أكسيد الكربون الجوي أثر في المناخ[1177]. وإن للتغيرات في دوران الأرض أثراً في الحياة، وقد تؤثر في المناخ[1178]. وإن الطاقة المستمدة من المد القمري (Lunar Tide) مشتتة في المحيطات. وللتعويض، يتباطأ دوران الأرض، ليبلغ 28 ثانية في القرن.

(1175) D. B. Karner and R. A. Muller, «A Causality Problem for Milankovitch,» *Science*, vol. 288 (2000), pp. 2143-2144.

(1176) R. Ehrilch, «Solar Resonant Diffusion Waves as a Driver of Terrestrial Climate Change,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* vol. 69 (2007), pp. 759-766.

(1177) W. R. Kuhn, J. C. G. Walker and H. G. Marshall, «The Effect on the Earth's Surface Temperature from Variations in Rotation Rate, Continent Formation, Solar Luminosity, and Carbon Dioxide,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 94 (1989), pp. 11129-11136.

(1178) C. T. Scrutton, «Periodic Growth Features in Fossil Organisms and the Length of the Day and Month,» in: P. Brosche and J. Sundermann, *Tidal friction and the Earth's Rotation* (New York: Springer-Verlag, 1978).

فإذا تباطأت الأرض، يتحرك القمر بعيداً عن الأرض للحفاظ على الزخم الزاوي.

إن طول اليوم نظرياً هو 86400 ثانية، وكانت هناك قياسات لطول النهار منذ 700 عام قبل الميلاد. ثم حدث تزايد في طول النهار (2.3 مليثانية كل قرن) بسبب قوى الجاذبية المجمعة للشمس والقمر، وهناك تناقص ثابت بـ 0.6 مليثانية في القرن كنتيجة للارتفاع الأرضي ما بعد العصر التجلدي[1179]. ويتزايد طول اليوم بـ 1.7 مليثانية في القرن. ويجب تعديل الساعات كل فترة وأخرى، كما حدث عام 2008، بثانية، بسبب التغير في شكل الأرض والغلاف الجوي.

هل لاحظت أن ثانية واحدة إضافية من الحياة قد زيدت لك عام 2008؟ أرجو أن تكون قد استعملتها جيداً.

(1179) F. R. Stephenson, «Historical Eclipses and Earth's Rotation,» *Astronomy and Geophysics*, vol. 44 (2003), pp. 2.22-2.27.

الفصل الخامس

الجليد

سؤال: هل يذيب الاحترار قلنسوة الجليد القطبية وتجلدات أودية الألب؟

الجواب: نعم، ولكن لا.

إن كوكب الأرض كوكب بركاني دفيء لفترة 80 في المئة من زمن وجوده. وقد كانت هناك عصور جليدية كثيرة تخللتها ظروف مناخية متتالية دفيئة وجليدية. فيما تمرّ الأرض حالياً في عصر جليدي. وكانت كمية الـ CO_2 الجوي خلال العصر الجليدي الأكبر أكثر بمئات المرات مما هي عليه اليوم.

ومنذ نهاية التجلد الأخير قبل 14000 عام ذابت صفائح الجليد بكثرة وأحدثت ارتفاعاً في مستوى سطح البحر مقداره 130 متراً. وخلال تجلدات وفترات ما بين جليدية ماضية، توسعت صفائح الجليد وضاقت بسبب تغيرات في درجات الحرارة، والرطوبة، وميل محور الأرض، وتساقط الثلج، والإشعاع الشمسي وتبخر الجليد. وكان سبب كثير من التغيرات في صفائح الجليد يعود إلى ميزات محلية. وعموماً، كانت درجة الحرارة أدفأ ومستوى سطح البحر أعلى خلال الفترات ما بين الجليدية الماضية.

تتقدم الآن بعض الصفائح الجليدية، ويتراجع غيرها، ويبقى غيرها مستقراً. وسبب الانسياب يعود إلى إعادة بلورة الجليد وليس إلى انزلاق الماء تحت قاعدة صفيحة الجليد.

يمور انسياب الجليد، وهو تزايد مؤقت في معدل الانسياب، ضمن مجلد، وينتج من الجليد الأسمك الذي تشكل منذ فترة طويلة. ويشكل إنتاج صفائح الجليد جبالاً جليدية هي النتيجة النهائية لعملية بدأت قبل آلاف السنين. تتشكل سلاسل الجبال الجليدية من الانسياب كبير الأمد لصفائح الجليد. وهي صفة دائمة لكل تجلد لا تعكس احتراراً كونياً.

وفي القطب الجنوبي، وكندا، وايسلندا براكين دون جليدية تعطي باستمرار حرارة، ومياه ساخنة وغازات حارة، وتثور أحياناً. إضافةً إلى ذلك، فإن القطب الجنوبي يرتفع. وهناك تحت محيط القطب الشمالي مرتفع غاكال (Gakkal Ridge) حيث توجد ثورانات متفجرة كبيرة، وصهارة، ومياه حارة، وثقوب غازات حارة. وإن دور البراكين القطبية ليس معروفاً، ولم يتم اعتبارها ضمن نماذج المناخ.

وليس هناك فقدان أو كسب مميز للجليد القطبي، أو جليد أودية الألب أو جليد البحر. وإن حفر الثقوب بقصد الدراسة والبحث في القطب الجنوبي وغرينلاند هو نافذة تفتح على أحداث الماضي. خلال فترات مابين جليدية سابقة عندما كان الجو أدفأ من الآن لم تذب صفائح الجليد كلها. ولم تكن هناك ظاهرة البيت الزجاجي أو الاحتباس الحراري. وإن غبار النيازك، والمذنبات، والبراكين، والجفاف، والنشاط البين نجمي، محفوظ في الجليد، مثل الغبار من النشاط الصناعي اليوناني والروماني. وبإمكان هذا الغبار أن يعطي سجلاً من التغيرات في النشاط الشمسي والسوبرنوفات. وتعطي صفائح الجليد إرشاداً إلى درجات الحرارة الماضية، وإرشاداً أقل وثوقية حول تركيب الهواء في الأزمنة الماضية.

وتتوسع صفائح الجليد وجليد البحر في القطب الجنوبي. وهناك تأرجح ألفي ـ قطبي. وعندما يبرد القطب الجنوبي، يدفأ القطب الشمالي، والعكس بالعكس. وكان القطب الشمالي أدفأ مما هو عليه اليوم بين 1920 و1940.

الجليد

إن الماء عجيب. وكذلك الجليد. وإن الجليد كالصخور تعمل مثل كثير من الصخور الأخرى. وإذا ارتفعت درجة حرارة الجليد إلى الصفر، فلا يذوب الجليد بالضرورة. ولا بد أن تضاف الحرارة إلى هموم الجليد لكي يتحول إلى

ماء ضمن درجة الصفر المئوية[1180]. ونحتاج إلى سعرة (Calory) حرارية واحدة لرفع درجة حرارة الماء درجة واحدة مئوية، غير أننا نحتاج إلى 80 سعرة حرارية لإذابة مقدار مساو من الجليد. ويحتاج الجليد إلى مقدار كبير من الطاقة لكسر جسيمات الماء وتشكيل البخار. ونحتاج إلى كثير من الحرارة لجعل المياه ساخنة، وبعد أن تسخن، تحتاج إلى وقت طويل حتى تبرد. والمعروف عندما تتشكل مادة صلبة، تكون الجسيمات مرصوصة مع بعضها البعض أكثر، وعندما تذوب هذه المادة، تنفصل الجسيمات عن بعضها البعض، ويتشكل السائل. ولكن الأمر ليس كذلك مع الماء، فالجليد أقل كثافة من الماء السائل.

إن المجلدات أنهار من جليد تنساب بسبب الجاذبية. والمجلدات تتحرك وتقعد، وتكون أحياناً ساكنة وتنساب في أحيان أخرى[1181]. وهي ليست «ثرمومترات» تتوسع أو تنقبض اعتماداً على درجة حرارة الهواء. وإذا ذابت المجلدات بتزايد درجة الحرارة، فإنها تحتاج إلى مقدار كبير من الحرارة لتحويل الجليد إلى ماء. ولا تذوب صفائح الجليد من السطح الأعلى إلى الأسفل، بل تذوب في الحافات والقعر وتصبح أصغر حجماً عندما يتحول الجليد مباشرةً إلى بخار ماء (تسامي). ويأخذ ذوبان المجلدات زمناً، وهذا ما يحدث فجوة بين الاحترار الكوني وذوبان الجليد. وإن الجليد عازل جيد، وإن انتقال الحرارة في الجليد عملية بطيئة. كما يعكس الجليد مقداراً كبيراً من الإشعاع رجوعاً إلى السماء.

ولا يعني زيادة شدة الإشعاع الشمسي أن الجليد سيذوب بالضرورة. فإذا كان الجليد ضمن 30 درجة مئوية تحت الصفر وترتفع الحرارة بمقدار عشر درجات مئوية، يبقى الجليد جليداً، على الرغم من أن الإشعاع الشمسي يسبب تسامياً للجليد. وإذا ذاب الجليد لا يعني ذلك بالضرورة أن مستوى سطح البحر سيرتفع، فهناك أعداد كبيرة من العمليات الأخرى التي تؤثر في تغير مستوى سطح البحر.

(1180) الحرارة الكامنة لتدفق الجليد (333.55J/g(79.72 cal/g . الحرارة الكامنة لتبخر الماء (صفر مئوية) (cal/g C) water 1.00, ice 0.50 . حرارات معينة هي 2500J/g (598cal/g) and (at 100 C) 2260 J/cal (539 cal/g) and steam 0.47. أما الخشب فهو 0.12 والذهب 0.03.

(1181) J. A. Dosdswell, G. S. Hamilton and J. O. Hagen, «The Duration of the Active Phase on Surge-Type Glaciers: Contrasts between Svalbard and other Regions,» *Journal of Glaciology*, vol. 37 (1991), pp. 388-400.

وإن الجليد أقل كثافةً من الماء. وإذا غطس الجليد، تجمدت البحيرات والبحار والمحيطات ابتداءً من الأسفل إلى الأعلى. وهذا يمنع ذوبان الجليد، وينتج بالتالي جليداً دائماً على الأرض.

يعكس الجليد إشعاعاً، ولن يكون كوكب الأرض قادراً على أن يفلت من كونه كرة جليدية، باستثناء بعض الكائنات المجهرية الصغيرة، وستتجمد الحياة جميعها على الأرض. لحسن الحظ، إذن، الماء عجيب.

ويشكّل الجليد بلورات مسدسة الزوايا. ولهذه البلورات سطوح مستوية ضعيفة. وللجليد في البحيرات سطح ضعيف مواز للسطح ويمكن كسره أو جزء منه بضغط أقل مما يتطلبه كسر الجليد في المجلدات، التي تحتوي على بلورات ثلجية موزعة عشوائياً. ويتحرك الجليد في المجلدات ببطء.

وتشمل هذا الحركة الثابتة الذرات من بلور جليدي واحد إلى آخر. وتنمو البلورات في حجمها من بلورات صغيرة ثلجية إلى بلورات كبيرة جليدية، وبخاصة في أنف المجلد حيث تكون بلورات الجليد أكبر بمئات المرات من بلورات الجليد في الثلج. وإن المعدل البطيء للتبلور يتناسب مع درجة الحرارة ووزن الجليد المتراكم. ويمكن للانتقال البطيء أن يعمل فقط عندما تكون هناك كتلة ضخمة من الجليد. إن صفائح الجليد في غرينلاند والقطب الجنوبي باردة جداً، فيكون الانسياب محدوداً في معظم الجليد. غير أن الجليد يكون في قاعدة المجلد دافئاً بفعل حرارة الأرض، ومعظم الانسياب يكون قريباً من قاعدة المجلد. وكلما كان الجليد أسمك، كان معدل الانسياب أعلى.

فهل تتوسع صفائح الجليد القطبي أم تنكمش؟ الجواب المناسب لهذا السؤال هو نعم، في بعض الأحيان تتسع، وفي أحيان أخرى تنكمش. ولقد نمت صفائح الجليد مئات المرات خلال التجلد الأخير، الذي بدأ في النصف الشمالي للكرة الأرضية قبل 2.67 مليون عام. خلال هذه الحقبة الجيولوجية، لم تختف صفائح الجليد كلها خلال فترات طويلة عندما كانت درجة الحرارة أعلى بكثير مما هي عليه اليوم[1182]. وعلى سبيل المثال، لم تختف صفحة

(1182) J. A. Dowdeswell [et al.], «The Mass Balance of Circum-Arctic Glaciers and Recent Climate Change,» *Quaternary Research*, vol. 48 (1997), pp. 1-14.

جليد غرينلاند[1183] في ذروة الهولوسين قبل 6000 عام عندما كان مستوى سطح البحر أعلى بمترين من الآن، وكانت درجة الحرارة أدفأ بست درجات مئوية على الأقل، ولم تنقرض الدببة القطبية، ونمت صفيحة جليد القطب الجنوبي[1184]. وإن صفائح جليد القطب الجنوبي أقدم بكثير ومنفصلة عن بقية العالم، بما في ذلك أجزاء أخرى من النصف الجنوبي للكرة الأرضية.

هذا، وتبيّن العلاقة بين ترسبات القطب الجنوبي البحرية مع لب جليد غرينلاند خلال الـ 4000 عام الماضية أن هناك دورات من أحداث دافئة وباردة كل 200 عام. وتحدث دورة دي فريس ـ سويس (The DeVries-Suess Solar Cycle) الشمسية كل 200 عام.

العصور الجليدية

إن إحد الألغاز العلمية العظيمة الأقدم هي سبب حركة صفائح الجليد جيئة وذهاباً. فقد اقترح لويس أغاسيز (Louis Agassiz) عام 1840 أن صفائح جليدية كبيرة كانت حول أوروبا وشمال أميركا، واقترح جوزيف أدهيمر (Joseph Adhémar) عام 1842 أن التجلد يحدث عندما تكون فصول الشتاء طويلة جداً (على سبيل المثال، الأرض في مدار أبعد عن الشمس). وتدور الشمس بشكل أسرع ويكون الصيف أقصر بأسبوع في النصف الشمالي للكرة الأرضية عندما تكون الأرض قريبة من الشمس.

وعدل جيمس كرول (James Croll) هذه الفكرة فقال إن فصول الشتاء الطويلة التي يمكنها أن تحفز التجلد تستمد من إشعاع شمسي أضعف. وغيّر ميلوتين ميلانكوفتش عام 1934 أفكار كرول (Croll Ideas) وقال إن التجلد في النصف الشمالي للكرة الأرضية يحدث عندما يكون مقدار الإشعاع الشمسي في الصيف ضئيلاً، وهذا يحرك دورات مدارية. ويستمر الجليد والثلج خلال الصيف كله ويتراكم تدريجياً في صفيحة جليدية. لقد ثبتت أفكار ميلانكوفتش

(1183) A. Weidick [et al.], «The Recession of the Inland Ice Margin during the Holocene Climatic Optimum in the Jakobhavn Isfjord Area of West Greenland,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* vol. 82 (1990), pp. 289-299.

(1184) E. W. Domack [et al.], «Late Holocene Advance of the Müller Ice Shelf, Antarctic Peninsula: Sedimentologic, Geochemical, and Paleontological Evidence,» *Antarctic Science*, vol. 7 (1995), pp. 159-170.

ببيانات أوضحت أنه خلال الـ 800,000 عام الماضية، تطلب زمنياً 90,000 عام لتنمو صفائح الجليد، و10,000 عام لتتقلص[1185]. ولا يزال علماء الجليد (Glaclologists) لا يدركون كيف أن تحولاً بسيطاً في الإشعاع الشمسي، في قمة الغلاف الجوي يؤدي إلى تغيرات كبيرة في حجم الجليد على الأرض[1186]. وإن دورات الـ 100,000 عام المسجلة في أواخر البلايوسين وبداية البلايستوسين (قبل 1 ـ 3 مليون عام) كانت أكثر انتظاماً من تلك في أواخر البلايستوسين، التي استمرت نحو 41,000 عام[1187][1188]. ويلاحظ تقدم الدورات المدارية وتعاقبها (فترات من 23,000 إلى 19,000 عام) في حجم الجليد وسجلات مستوى سطح البحر خلال الـ 700,000 عام الماضية[1189].

إن القول إن مدار الأرض يؤثر في التجلد مقبول تماماً، ولكن هناك حاجة لفهم أفضل ومفصل أكثر لهذه العملية. فكيف يمكن شرح دورات الـ 41,000 عام للبلايستوسين الأخير؟ ولماذا كان هناك تغير؟ وكيف تؤثر التغيرات البسيطة في الإشعاع بالدورات الجليدية؟ وماذا تقيس سجلات المناخ فعلاً؟ إن هذه الأسئلة مهمة لأن مناخ الأرض الحديث مرتبط بالأثر الأخير المتبقي لصفائح الجليد الشمالية التي غطت قبل 14,000 عام النصف الشمالي للكرة الأرضية، وصولاً إلى 38 درجة جنوباً (38°S)، وما تبقى من صفائح جليد النصف الجنوبي في القطب الجنوبي. وإذا لم نتمكن من فهم كيفية حدوث المناخات الدورية الكبيرة السابقة، فلدينا قليل من الأمل في اختراع نماذج لتوقع تغيرات مناخية في المستقبل.

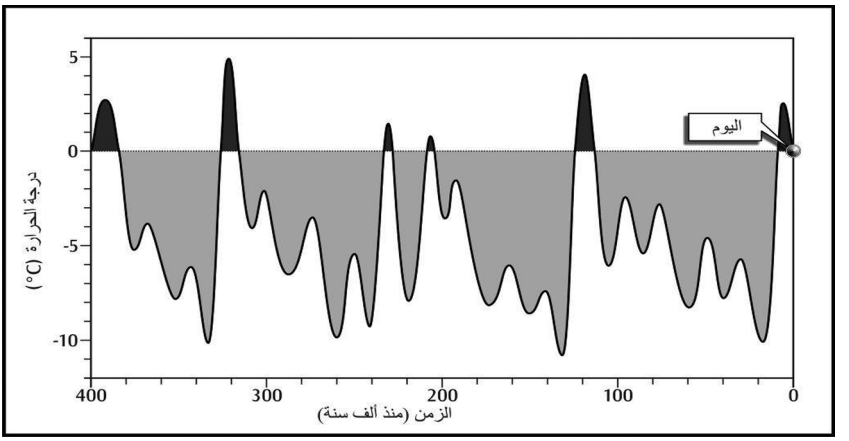
(1185) J. D. Hays, J. Imbrie and Shackleton, «Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages,» *Science,* vol. 194 (1976), pp. 1121-1131.

(1186) M. E. Raymo and P. Huybers, «Unlocking the Mysteries of the Ice Ages,» *Nature*, vol. 451 (2008), pp. 284-285.

(1187) N. G. Pisias and T. C. Moore, «The Evolution of Pleistocene Climate: A Time Series Approach,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 52 (1981), pp. 450-458.

(1188) P. J. Huybers and E. Tziperman, «Integrated Summer Insolation and Forcing and 40,000 Year Glacial Cycles: The Perspective from Ice Sheet/Energy Balance Model,» *Paleoceanography,* vol. 23, (2007), doi: 10.1029/2007PA001463.

(1189) P. J. Huybers, «Early Pleistocene Glacial Cycles and the Integrated Summer Insolation Forcing,» *Science*, vol. 313 (2006), pp. 508-511.



الشكل 23 : دورات التجلد (رمادي) وما بين الجليدية (سوداء) خلال السنين الـ 400,000 الماضية تبين أن الفترة ما بين الجليدية الحالية ليست دافئة مثل الفترات ما بين الجليدية السابقة، ويجب أن يتبع الفترة ما بين الجليدية الحالية تجلد آخر وليس هناك أمر غير عادي عن المناخ الحديث. وقد عاشت الدببة القطبية في جميع الفترات ما بين الجليدية السابقة، التي كان بعضها أدفأ وأطول من الفترة ما بين الجليدية الحالية.

إن كوكب الأرض كوكب بركاني رطب ودافئ، وكان هنالك صفائح جليدية لـ 20٪ من الزمن فقط، كانت خلالها الصفائح تتكون وتتلاشى وترتفع مستويات البحر وتهبط، وتتراجع الحياة وتتقدم، وتكون تغيرات المناخ مفاجئة وسريعة. وتحدث فترات ما بين جليدية دافئة وقصيرة عندما تكون هناك صفائح جليدية وفترات باردة حادة وقصيرة خلال الفترات ما بين الجليدية.

كان هناك عصر جليدي قبل 2400 إلى 2100 مليون عام[1190]. وكان التجلد على مستوى سطح البحر وفي مناطق استوائية. وبعد هذا الحدث فقط كان هناك تنوع من الحياة البكتيرية، وأصبح الغلاف الجوي مؤكسداً بسبب عملية التركيب الضوئي. وحدث تجلد استوائي في مستوى سطح البحر مرة أخرى قبل 750 مليون عام إلى 635 مليون عام[1191]. وبعد هذه التجلد، ازداد الأكسجين في الغلاف الجوي وظهرت الحياة متعددة الخلايا. ونمت صفائح الجليد[1192].

(1190) تجلد هوروني (Huronian Glaciation).

(1191) تجلد كريوجيني أو نيوبروتيروزيوك (Cryogenian or Neoproterozoic Glaciation).

(1192) P. A. Allen and J. L.Etienne, «Sedimentary Challenge to Snowball Earth,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 817-825.

كانت هناك آليات عديدة حفزت على تفسير أصل تغير المناخ الأكبر خلال الأزمنة، بما في ذلك النور الشمسي المخفض[1193]، ومعدل الدوران المتزايد للأرض، وميل حاد في محور الأرض[1194][1195][1196]، وتركيزات جوية[1197] وجغرافية مختلفة، وطوبوغرافية تتحكم بها ظروف حركة الصفائح التكتونية (Tectonic)[1198][1199]، وانعكاس متغير للإشعاع الشمسي بالجليد، ودمج لدوران المحيط ونقل الحرارة وديناميكيات جليد البحر. إن أصل أكبر تجلد على كوكب الأرض غامض. فقد كانت صفائح الجليد على خط الاستواء في نهاية العصر البروتيروزوي (Proterozoic era)، قبل 750 إلى 635 مليون عام[1200]. وكانت هناك تجلدات متبدلة وفترات ما بين جليدية طويلة عندما كانت درجة حرارة سطح البحر على الأقل 40 درجة مئوية. ولا يوجد أي بحر أو محيط على الأرض اليوم بهذا الدفء. ثم ارتفع مستوى سطح البحر وانخفض 60 متراً. ولم توجد أي تغيرات بمستوى سطح البحر كهذه منذ وقتها. وتغيرت كيمياء البحر. وكانت الحياة على الأرض وقتها بكتيرية بامتياز، ثم وانسابت الحياة في المحيطات من منتجة جداً في فترات ما بين جليدية إلى مستمرة على قيد الحياة خلال التجلد. وأدى هذا إلى القول إن الأرض كرة ثلجية.

(1193) G. S. Jenkins and L. A. Frakes, «GCM Sensitivity Test Using Increased Rotation Rate, Reduced Solar Forcing and Orography to Examine Low Latitude Gaciations in the Neoproterozoic,» *Geophysical Research Letters*, vol. 25 (1998), pp. 3525-3528.

(1194) G. E. Williams, J. F. Kasting and L. A. Frakes, «Low-Latitude Glaciations and Rapid Changes in the Earth's Obliquity Explained by Obliquity-Oblateness Feedback,» *Nature*, vol. 396 (1998), pp. 433-455.

(1195) G. S. Jenkins, «Global Climate Model High-Obliquity Solutions to the Ancient Climate Puzzles of the Faint Young Sun Paradox and Low-Latitude Proterozoic Glaciations,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 205 (2000), pp. 7357-7370.

(1196) Y. Donnadieu [et al.], «Is High Obliquity a Plausible Cause for Neoproterozoic Glaciations,» *Geophysical Research Letters*, vol. 29 (2002), doi: 10.1029/2002GL015209.

(1197) T. J. Crowley, W. H. Hyde and W. R. Peltier, «CO_2 Levels Required for a Deglaciation of a «Near-Snowball» Earth,» *Geophysical Research Letters*, vol. 28 (2001), pp. 283-286.

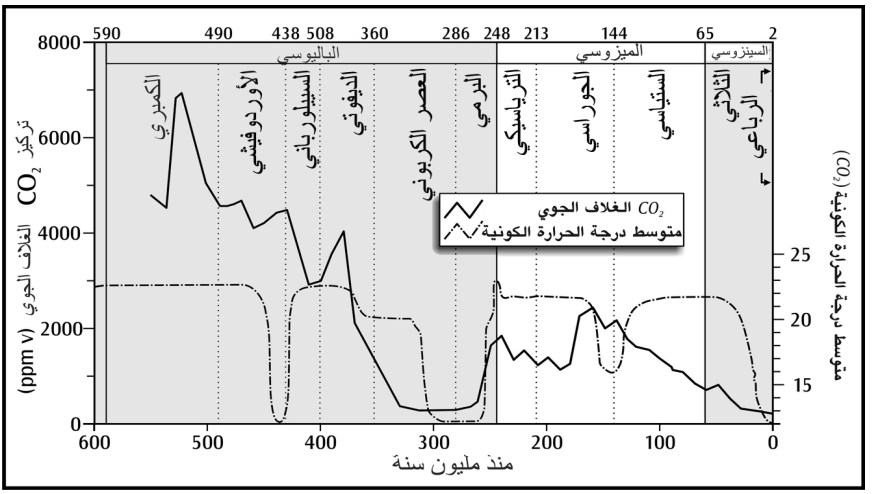
(1198) Y. Donnadieu [et al.], «A «Snowball Earth» Climate Triggered by Continental Break-Up through Changes in Run-Off,» *Nature,* vol. 428 (2004), pp. 303-306.

(1199) Y. Goddéris [et al.], «Coupled Modeling of Global Carbon Cycle and Climate in the Neoproterozoic: Links between Rodinia Break-up and Major Glaciations,» *Compes Rendes Geoscience*, vol. 339 (2007), pp. 212-222.

(1200) I. J. Fairchild and M. J. Kennedy, «Neoproterozoic Glaciations in the Earth System,» *Journal of the Geological Society*, vol. 164 (2007), pp. 895-921.

وعليه، إذا لم نفهم سبباً أو أسباباً لتغير المناخ الأكبر في الأزمنة السابقة، فما هو أملنا في فهم تغير المناخ الحديث؟

تبع التجلد المعتدل الأوردوفيشي ـ السيلوري (Ordovician Silurian) البعيد عن خط الاستواء (450 ـ 420 مليون عام) تجلد كثيف جداً اسمه التجلد البرمو ـ كاربونيفيروس (Permo-Carboniferous) البعيد عن خط الاستواء (300 ـ 260 مليون عام). وكان التجلد المعتدل الجوراسي ـ الكريتاكيوس (Jurassie-Cretaceous) (151 ـ 132 مليون عام) بعيداً عن خط الاستواء مثل ما هو التجلد الحالي الذي بدأ قبل 2.67 مليون عام (تجلد البلايستوسين). وحدثت تجلدات سابقة في أزمنة عندما كان الـ CO_2 الجوي أعلى مما هو اليوم، مما يرفع الشك حول الـ CO_2 وكونه يحدث احتراراً حرارياً. ونحن اليوم في فترة من تذبذب بين ظروف المخزن الجليدي Icehouse والدفيئة Greenhouse. لقد خرجنا من التجلد قبل 14,000 عام، وليس مفاجئاً أن تكون درجة الحرارة ومستوى سطح البحر قد ارتفعا.



الشكل 24: مخطط يبيّن العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون الجوي ودرجة الحرارة خلال الزمن. إن العصور الجليدية الأوردوفيشي والبيرمو ـ كاربونيفيروس والجوراسي حدثت عندما كان ثاني أكسيد الكربون الجوي أعلى مما هو عليه الآن. وبالتالي فإن الفرضية القائلة إن ثاني أكسيد الكربون الجوي العالي ينتج احتراراً كونياً غير صالحة.

إضافةً إلى ذلك، كان تركيز الـ CO_2 الجوي أعلى من الآن بكثير خلال التجلد الأكبر. عندما بدأت القارة الكبرى رودينيا بالتفكك قبل 830 مليون عام.

وكان لهذا أن يبعث كميات كبيرة من CO_2 إلى الغلاف الجوي من براكين بازلتية[1201]. ولاستهلكت مياه الأمطار المتزايدة في أراض عديدة الـ CO_2 بالتجوية القارية، وزادت التجوية فعلاً من استهلاك الـ CO_2. وكان هناك جريان متزايد للحياة، وبخاصة أنه لم تكن هناك حياة نباتية في ذلك الزمن. وانخفض تركيز الـ CO_2 الجوي بـ 1320 ppmv[1202] مما سمح بعوامل أخرى غير ثاني أكسيد الكربون أن تحرك المناخ. غير أن محتوى الـ CO_2 هذا كان أكثر من أربع أضعاف المحتوى الحالي، وكان هناك تجلد، وليس احتراراً كونياً. وبعد التجلد، حفزت المواد الغذائية التي أضيفت إلى المحيطات الدافئة خلال الفترات ما بين الجليدية اتساع الحياة أحادية الخلية التي زادت من محتوى الأكسجين الجوي. ثم أدى ذلك إلى ظهور حياة متعددة الخلايا[1203] قبل 583 مليون عام، وسحب الـ CO_2 من الغلاف الجوي، وانحبس في الصخور والأحفوري من قبل نباتات مفرزة للجير، واعتدل الطقس والمناخ.

يسبب التجلد إزالة واسعة للتربة والصخور المكسرة تحتها وقد أكلت التجلدات في بعض المناطق، مواد وتضاريس أكثر من الأنهار الكبيرة التي تقطع جبال هيملايا[1204]. ويرى هذا من حجم المواد التي تتراكم في أزقة ألاسكا البحرية[1205]. والأغرب هو أن تقدم بعض صفائح الجليد يمكن أن يغير عمليات التصدع (Faulting)، والطي والحركة العمودية لسلسلة الجبال والترسبات التي تأتي من سلسلة الجبال[1206]. ويمكن للأنهر أن تفعل الشيء نفسه.

لم يمر العصر الجليدي الأخير مرور الكرام، فقد كان هناك ابتراد كوني عميق في الـ 50 مليون عام الأخيرة مع أحداث دفء متنوعة قصيرة وطويلة

(1201) Y. Goddéris [et al.], «The Sturtian «Snowball» Glaciation: Fire and Ice,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 211 (2003), pp. 1-12.

(1202) Y. Donnedieu [et al.], «A «Snowball» Earth Climate Triggered by Continental Break-up Through Changes in Runoff,» *Nature*, vol. 428 (2004), pp. 303-306.

(1203) الحيوانات الإيديكارية (Ediacaran Fauna).

(1204) B. Hallet, I. Hunter and J. Bogen, «Rates of Erosion and Sediment Evacuation by Glaciers: A Review of Field Data and their Implications,» *Journal of Global Planetary Change*, vol. 12 (1996), pp. 213-235.

(1205) P. Molnar and P. England, «Late Cenozoic Uplift of Mountain Ranges and Global Climate Change: Chicken or Egg?,» *Nature*, vol. 346 (1990), pp. 29-34.

(1206) A. L. Berger [et al.], «Quaternary Tectonic Response to Intensified Glacial Erosion in an Orogenic Wedge,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 793-799.

خلال الابتراد. وبمجرد أن يبرد الكوكب، يحفز التجلد تجمعات الاضطراب والتغيرات في الشمس والعوامل الجيولوجية.

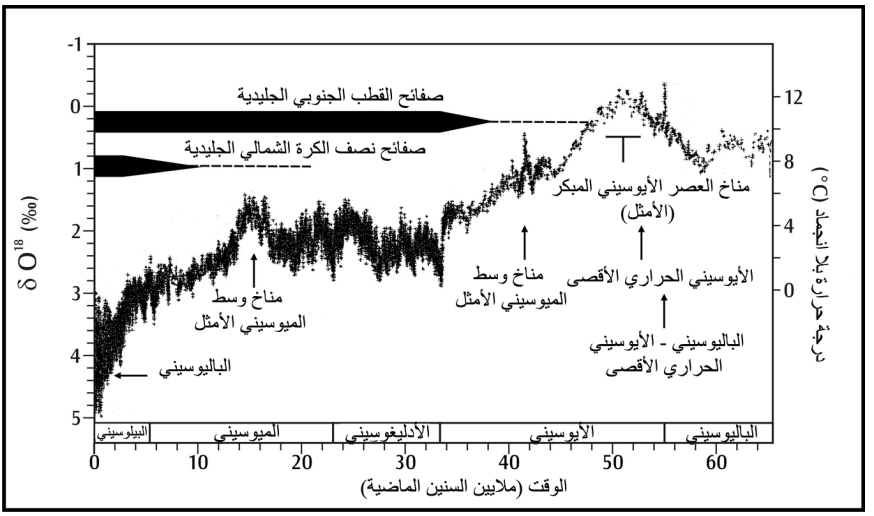
تقدم الجليد وتراجعه

يتساقط الثلج على أراضٍ عالية، ويصبح متراصاً أكثر وأكثر مع الزمن، ويلفظ الهواء من داخل الثلج فيتحول الأخير إلى جليد جامد. وتُلتَقط بعض فقاعات الهواء داخل الجليد حيث يمكن استعمالها لتحديد تركيب الهواء في وقت تساقط الثلج. غير أن الجليد المضغوط يضغط على فقاعات الهواء ويزيلها، ويشكل المزيد من ترسب الثلج طبقات فوق بعضها البعض تأخذ مسارها كسابقاتها وتكون الطبقة الأصغر في القمة، والأقدم في القاعدة، وإن طبقات الجليد السميكة هذه هي مصدر أساسي لحرارة واسعة الأمد. ولبيانات CO_2 خلال بضع مئات آلاف السنين. إن صفائح الجليد ليست مجرد طبقات كبيرة من الجليد فقط، فغالباً ما يكون لها طبقات قاعدية من الترسبات مع جليد متراكم فوق هذه الطبقات وتحتها[1207]. إن عمر أعمق لب للجليد يزيد على 700,000 عام. إن الحفاظ على هذا الجليد بيّن استنتاجياً أن قلنسوات الجليد لم تذب خلال أي من الفترات الدافئة التي تخللت هذه الفترة الزمنية الطويلة.

ليس هناك علاقة بسيطة بين الجليد ودرجة الحرارة. فإذا أصبح المناخ الإقليمي جافاً جداً، كان هناك ترسب قليل وتراجع للتجلد. وهذا ما كان يحدث في مرتفع كليمنجارو (Mt Kilimanjaro) منذ أواخر القرن التاسع عشر. ويمكن لهذا أن يحدث أيضاً إذا أصبحت المنطقة باردةً بما يكفي لتخفيض التبخر من المحيط. وإذا ارتفعت درجة الحرارة، يزداد التبخر. وكنتيجة، سيكون هناك تساقط متزايد للثلوج. وللمفارقة، قد يؤدي ارتفاع في درجة الحرارة إلى نمو متزايد للمجلدات وصفائح الجليد. وقد حدث هذا عدة مرات في غرينلاند والقطب الجنوبي. غير أن التبخر يحتاج إلى طاقة، وهذه تأتي من سطح اليابسة والهواء، وإن بخار الماء في الهواء هذا، ودورة التبخر والانخساف هي التي تحدد درجة حرارة الهواء. ويزود بخار الماء في الهواء فصول الصيف في

J. B. Murton [et al.], «Basal Ice Facies and Supraglacial Melt-out Till of the Laurentide (1207) Ice Sheet, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 24 (2004), pp. 681-708.

المناطق الاستوائية الرطبة بدرجات حرارة أدنى من درجات حرارة الصيف في الصحارى، في مناطق أبعد عن خط الاستواء. ويكون الماء بدلاً من الـ CO_2 هو الذي يحرك المناخ.



الشكل 25: إعادة بناء المناخ خلال الـ 65 مليون عام الماضية من قياس نظائر الأكسجين في أصداف الحيوانات العائمة الأحفورية. لقد كانت الـ 65 مليون عام الأخيرة باردة مع فترات دافئة، وفترات دافئة واختلافات في درجة الحرارة ضمن اتجاه ابتراد بالكامل. إن الأرض باردة حالياً، وكانت أدفأ من الآن لـ 80 في المئة من الزمن.

تتقدم المجلدات وتتراجع، لأسباب عدة مثل التدرج البطيء أو الدبيب (Creep) (كافة المجلدات)، ودرجة الحرارة (القطب الشمالي، القطب الجنوبي)، والرطوبة (كليما نجارو)، وانسياب الماء تحت الجليد (غرينلاند والقطب الجنوبي)، والتغير في منحدر اليابسة (القطب الجنوبي) وبراكين تحت المجلدات (آيسلاندا، والقطب الجنوبي، وكندا). وهنالك صفائح موازنة (Balance Sheets) لاتفتأ تبين الفقدان والكسب في الجليد[1208]. أظهرت هذه الصفائح أن تراجع الجليد وتقدمه ليس كونياً. غير أننا لا نعرف كيف تذوب المجلدات وصفائح الجليد. وقد يكون هناك انتقال لمياه السطح المنصهرة إلى تحت المجلد ينتج منه انزلاق أو فقدان لاكتاف رفوف الجليد في نهاية

(1208) R. L. Braithwaite, «Glacier Mass Balance: The First 50 Years of International Monitoring,» *Progress in Physical Geography*, vol. 26 (2002), pp. 76-95.

المجلد[1209][1210][1211]. هذا ولا تتفق قياسات صفائح الجليد والمجلدات المنصهرة عادة مع الحسابات والنماذج[1212] الرياضية. وعندما تذوب صفائح الجليد، فإنها تقوم بذلك بسرعة[1213].

إن فيزياء انسياب الجليد معروفة لأكثر من 70 عاماً. ويمكن اختبار وفحص فكرة انحدار المجلدات على قاعدة منزلقة. وبإمكان عمل خط من الأعمدة (Sticks) على طول مجلد منحنى محدب في اتجاه مجرى النهر لتبيان أن الجليد لا ينحدر ببساطة على قاعدة منزلقة. فإذا انحدر الجليد على القاعدة المنزلقة إياها، تبقى الأعمدة في خط مستقيم. ويزداد حجم بلورات الجليد نحو خط النهاية كما يفعل التوضع المفضل لبلورات الجليد. وهذا يظهر أن حركة الجليد تنشأ من دبيب أو تدرج بلاستيكي[1214] من خلال استمرار إعادة بلورة الجليد[1215][1216][1217]. إن هذا كما يظهر هي الطريقة التي تلتوي وتنساب بها المعادن والصخور وغيرها من المواد التي تظهر صلبة للعيان. وهذه العملية معروفة منذ عقود[1218][1219][1220]. وهناك نظرة تقول إن تدرج الجليد يمكن أن

(1209) R. B. Alley [et al.], «Ice-Sheet and Sea-Level Changes,» *Sciences*, vol. 310 (2005), pp. 456-460.

(1210) L. A. Stearns, B. E Smith and G. S. Hamilton, «Increased Flow Speed on a Large East Antarctic Outlet Glacier Caused by Sub-Glacial Floods,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 827-831.

(1211) R. E. Bell, «The Role of Sub-Glacial Water in Ice-Sheet Mass Balance,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 297-304.

(1212) M. Siddall and M. R. Kaplan, «A Tale of Two Ice Sheets,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 570-571.

(1213) A. E. Carlson [et al.], «Rapid Early Holocene Deglaciation of the Laurentide Ice Sheet,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 620-624.

(1214) محدد من علم البلوريات بالأشعة السينية.

(1215) M. F. Perutz, «Mechanism of Glacier Flow,» *Proceedings of the Physical Society*, vol. 52 (1940), pp. 132-135.

(1216) J. F. Nye, «The Flow Law of Ice from Measurements in Glacier Tunnels, Laboratory Experiments and the Jungfraufirn Borehole Experiment,» *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*219 (1953), pp. 477-489.

(1217) J. F. Nye, «The Creep of Polycrystalline Ice,» *Proceedings of the Royal Society of London*, Series A207 (1955), pp. 554-572.

(1218) H. Benioff, «Earthquakes and Rock Ccreep,» *Bulletin of the Seismological Society of America* (1951), pp. 31-62.

(1219) S. K. Mitra and D. McLean, «Work Hardening and Recovery in Creep,» *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*295 (1966), pp. 288-299.

(1220) G. N. Boukharov, M. W. Chanda and N. G. Boukharov, «The Three Processes of Brittle =

يكون بطيئاً جداً، خلال آلاف السنين. وتقول دلائل أخرى إن تغيرات رئيسية في بعض أجزاء الصفائح الجليدية تحدث فقط خلال بضع سنوات إلى عقود[1221]. وهذا يبين أن هناك مدى واسعاً في معدل انسياب المجلد. وتقول بعض الأبحاث العلمية إن المياه المنصهرة التي تصل إلى قاعدة صفيحة جليدية تسرع حركة انسياب الجليد. غير أن هذه الأوراق لا تذكر التدرج كتفسير بديل مجرب ومثبت لحركة الجليد[1222][1223][1224].

عندما يكون الجليد كثيفاً بما فيه الكفاية، يبدأ بالانسياب مثل مادة بلاستيكية تحت قوة الجاذبية[1225]. وبغضّ النظر عن وجود مياه سائلة، مثل ما هو الحال في الماء الذائب، وبسبب الفارق الكبير بين الحرارة الكامنة والحرارة المحددة للمياه، يكون المجلد عند نقطة التجمد. وإن معدل انسياب الجليد متناسب مع الضغط ودرجة الحرارة. فإذا كان المجلد كله عند نقطة التجمد، لا تكون درجة الحرارة مهمة ويتحكم الضغط بالانسياب. ويسبّب الضغط في صفائح الجليد انسياب الجليد صعوداً وخارجاً من الأحواض البحرية العميقة. ويمكن لمجلدات أودية الألب أن تنساب صعوداً أيضاً حيث يكون حوض الغرين غارقاً في العمق لتشكيل حوض منقّش بالصخور[1226]. تشير حقيقة انسياب الجليد صعوداً إلى آليةٍ أخرى إلى جانب انزلاق الماء الذائب في قاعدة صفيحة الجليد الذي يتحكم بحركة الجليد. وإن معظم عملية انسياب صفائح الجليد تجري بالقرب من القاعدة، حيث تخفض السخونة الجيوحرارية درجة حرارة الجليد. ويجري بعض لب الجليد العميق من الجليد المقسم بالعمق. وهنا يبدأ الجليد

Crystalline Rock Creep,» *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 32 (1995), = pp. 325-335.

(1221) J. L. Bamber, R. B. Alley and I. Joughin, «Rapid Response of Modern Day Ice Sheets to External Forcing,» *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 257 (2007), pp. 1-13.

(1222) L. A. Stearns, B. E. Smith and G. S. Hamilton, «Increased Flow Speed on a Large East Antarctic Outlet Glacier Caused by Sub-Glacial Floods,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 827-831.

(1223) I. Joughin [et al.], «Seasonal Speedup along the Western Flank of the Greenland Ice Sheet,» *Science*, 320 (2008), doi: 10.1126/science.1153288.

(1224) S. B. Das [et al.], «Fracture Propagation to the Base of the Greenland Ice Sheet during Supraglacial Lake Drainage,» *Science*, 320 (2008), doi: 10.1126/science.1153360.

(1225) J. O. Hagen [et al.], «On the Net Mass Balance of the Glaciers and Ice Caps in Svalbard, Norwegian Arctic,» *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 35 (2003), pp. 264-270.

(1226) كوري أو سيرك.

بالانسياب تحت الضغط، على الرغم من كونه تحت درجة حرارة التجمد.

تنساب المجلدات في اتجاه مجرى النهر وتنساب صفائح الجليد خارجاً من مركز ترسب الثلج الذي يكون متجهاً نحو حافة صفيحة الجليد[1227]. إن مراكز الانخساف هذه في أعالي غرينلاند والقطب الجنوبي، حيث تحتل صفائح جليد غرينلاند وغرب القطب الجنوبي وشرقها أحواضاً يبلغ عمقها كيلومترات، فيكون انسياب الجليد نحو الأعلى. ويمكن لمعدلات الانسياب أن تكون متغيرة وتصل إلى 40 متراً في اليوم على سبيل المثال، تجلد أبرنافيك (Upernavif Glacier)، في وغرينلاند[1228]، الذي يشابه انسياب العديد من التجلدات الألبية سنوياً. وعندما يصل الجليد إلى ارتفاع أدنى وتكون درجة الحرارة أدفأ، يبدأ الجليد بالذوبان والتبخر. وإذا توازن الترسب والتبخر، يبقى المجلد ثابتاً. وإذا تجاوز الترسب التبخر، ينمو المجلد. وإذا تجاوز التبخر الترسب، يتراجع المجلد. وتكون حركة المجلدات في النصف الشمالي للكرة الأرضية مسؤولة عن تغيرات قصيرة الأمد في سرعة المجلد[1229][1230][1231][1232]. فتتحرك صفائح الجليد بالتدرج أو الدبيب في قاعدة الجليد، فيما تكون الحركة في معظم مجلدات وادي الألب فوق قاعدة الجليد بسبب الكبح.

هناك كبح احتكاكي في قاعدة المجلد، ولا يوجد انسياب في القمة بسبب نقص الجليد الفوقي. يكون الجليد الفوقي للمجلد هشاً ويكون الجزء الأدنى بلاستيكياً. وتكون ذروة الانسياب لمجلدات الوادي في الوسط. هذا ولا ينساب

(1227) J. A. Dowdeswell [et al.], «Mass Balance Change as a Control on the Frequency and Occurrence of Glacier Surges in Svalbard, Norwegian High Arctic,» *Geophysical Letters,* vol. 22 (1995), pp. 2909-2912.

(1228) E. Rignot and P. Kanagaratnam, «Changes in Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 311 (2006), pp. 986-990.

(1229) المصدر نفسه، ص 986–990.

(1230) A. Iken and R. A. Bindschadler, «Combined Measurements of Sub-Glacial Water Pressure and Surface Velocity of Findelengletscher, Switzerland: Conclusions about Drainage System and Sliding Mechanism,» *Journal of Glaciology*, vol. 32 (1986), pp. 101-119.

(1231) K. R. MacGregor, C. A. Riihimaki and R. S. Anderson, «Spatial and Temporal Evolution of Rapid Basal Sliding on Bench Glacier, Alaska, USA,» *Journal of Glaciology*, vol. 51 (2005), pp. 49-63.

(1232) S. O'Neel [et al.],»Evolving Force Balance at Columbia Glacier, Alaska, during its Rapid Retreat,» *Journal of Geophysical Research*, 110 (2005), F03012.

سطح الجليد بالتدرج أو التدبّب فيتكسر. إن معدلات الانسياب الجليدية متغيرة، قد تكون متدفقة (Surging). فعلى سبيل المثال، ما حصل من تضاعف مفاجئ لمعدل ذوبان المجلدات عام 2004 في غرينلاند، وتتباطأ اثنتان من المجلدات الكبيرة الآن، ففي عام 2006، توقفت أحداهما[1233] عن النحافة وأصبحت سميكة في الجزء المركزي الرئيسي، وإن فقدان الحجم في مجلدات غرينلاند يقترب الآن من معدلاته السابقة.

لقد كانت هذه المجلدات تستجيب لفقدان بعض الجليد المقيد في نهايتها الدنيا، مثلما يتغير انسياب النهر بسبب تدمير سد[1234]. لقد تم قياس الانسياب والتدفق، والتراجع، ونقص الانسياب في مجلدات القطب الجنوبي[1235]. وكلما كان الجليد أكثر سماكة عند المصدر وكان المنحدر أشد، يكون انسياب الجليد أسرع. وتجري السرعة المتزايدة في اتجاه مجرى النهر. هذا ولا تتعلق الانسيابات (Surges) بدرجة حرارة الهواء، فإن المياه المنصهرة أو درجة حرارة البحر، لهما علاقة بتغيرات حدثت منذ زمن طويل[1236].

كان هناك على الأقل ست مراحل من التقدم والتراجع الجليدي في العصر الجليدي الصغير (1280 ـ 1850)[1237][1238][1239][1240]. وتقدمت جميع المجلدات بسرعة (1560 ـ 1610) إلى الذروة (1640 ـ 1650) في سويسرا. وكانت هناك ذروة جليدية في النمسا (1670 ـ 1705) وذروة جليدية في النرويج

(1233) تجلد كانغردلوغسواغ (Kangerdlugssuaq Glacier).

(1234) I. Howat, I. R. Joughin and T. A. Scambos, «Rapid Changes in Ice Discharge from Greenland Outlet Glaciers,» *Science*, vol. 315 (2007), pp. 1559-1561.

(1235) W. F. Budd and B. J. McInnes, «Periodic Surging of the Antarctic Ice Sheet-an Assessment by Modeling,» *Hydrological Studies Bulletin*, vol. 24-1 (1979), pp. 95-103.

(1236) P. G. Fookes, «Some Aspects of the Geology of Svalbard,» *Geology Today*, vol. 24 (2008), pp. 146-152.

(1237) A. Nesje and M. Kvamme, «Holocene Glacier and Climate Variations in Western Norway: Evidence for Early Holocene Glacier Demise and Multiple Neoglacial Events,» *Geology*, vol. 19 (1991), pp. 610-612.

(1238) B. H. Luckman, G. Holdsworth and G. D. Osborn, «Neoglacial Glacier Fluctuations in the Canadian Rockies,» *Quaternary Research*, vol. 39 (1993), pp. 144-153.

(1239) J. I. Svendsen and J. Mangerud, «Holocene Glacial and Climate Variations on Spitsbergen, Svalbard,» *The Holocene*, vol. 7 (1997), pp. 45-57.

(1240) A. Nesje and S. O. Dahl, *Glaciers and Environmental Change* (London: Arnold, 2000).

(1720 ـ 1750). وهناك تقدمات ثانوية بين 1816 و1825 لجميع المجلدات فقد كانت ذروة الجليد بين 1850 ـ 1890. وكان تقلص سريع للمجلدات في ثلاثينيات القرن العشرين وأربعينياته، ثم توسع من الخمسينيات حتى الثمانينيات. وربما لم يكن التقدم الجليدي والتراجع في الماضي متعلقاً بدرجة الحرارة. ولعلّ التوسعات الجليدية في جبال باتاغونيا (Patagonia) في درياس الأصغر (قبل 12,900 ـ 11,500 عام) لم تكن تتعلق بالابتراد، على سبيل المثال، إنما هي استجابة إلى كميات متزايدة من ترسبات مصدرها شرقي[1241]. وعليه فالقول إن كل تراجع جليدي حديث هو نتيجة مساهمة الإنسان في احترار الكوكب هو تجاهل للتاريخ.

إن اعتماد قياس الفقد الجسيم للمجلدات، ومعدل انسياب الجليد كمرشد لتغير المناخ مضلل، لأن معدل الانسياب قد ينقص أو يزيد بسرعة، وقد يبدأ لأسباب عديدة. كما إن الزيادة في معدل الانسياب ليس له علاقة بدرجة الحرارة وهو ناتج من الترسبات المتزايدة منذ آلاف السنين. تتعاظم المجلدات لتتدفق فيما تزداد الأجزاء العليا منها سماكة كنتيجة لتراكم الثلج. ويزداد انحدار الجليد إلى نقطة حرجة، ويبدأ الانسياب بتكسر بلورات الجليد وتراكم كميات كبيرة من المياه المضغوطة على قاعدة المجلدة. إن معظم العلامات الحيوية التي كانت تستعمل لتبيان الاحترار الكوني، وهي خاطئة، كانت سيول مياه الجليد المنصهرة المنجرفة من البحيرات التي تتشكل كل صيف على صفيحة جليد غرينلاند. تتحرك هذه المياه منسابة على طول أنابيب التصريف الطبيعية[1242]. وتتحرك كميات الجليد على المنحدر خلال الانسياب بحركة تشبه الأمواج محدثةً تغيرات كثيرة في معدل انسياب الجليد. وعندما يتوقف الانسياب، تبدأ الكميات العليا بالتراكم مرة أخرى، ويعيد الانسياب نفسه. وتحدث هذه الانسيابات كل 10 إلى 100 عام[1243].

يقتلع طحن الجليد حول سطح الأرض الأتربة والصخور. وإن أجزاء من الصخور تطحن بضغط الجليد لتشكل مسحوقاً، وبعضها يصقل أو يُسحن،

(1241) R. P. Ackert [et al.], «Patagonian Glacier Response during the Late Glacial-Holocene Transition,» *Science,* vol. 321 (2008), pp. 392-395.

(1242) مولينز (Moulins).

(1243) P. G. Fookes, «Some Aspects of the Geology of Svalbard,» *Geology Today*, vol. 24 (2008), pp. 146-152.

وبعضها الآخر يمكن حمله بالجليد مئات الكيلومترات من المكان الذي اقتلع منه. ويمكن لمجلد متراجع أن يترك وراءه جلاميد (Boulders) كبيرة بحجم مبنى. وقد وصفت هذه الجلاميد قديماً على أنها مواد خلّفها العمالقة والشياطين.

عندما تذوب المجلدات، تنقبض هذه الجلاميد كركام في نهايتها أو أطرافها. وإذا كانت المجلدة تتقدم نحو البحر، تحمل جبال الثلوج المتشعبة من المجلدة تراباً وصخوراً من اليابسة. وليست المجلدات مجرد ركامات مستقرة من الجليد. وإنما هي تنساب باستمرار مكونة أنهاراً من الجليد. وإنه لمن الطبيعي أن تنتج المجلدات كتلاً كبيرة من الجليد عندما تصل إلى البحر، بغضّ النظر عن دفئه أو برودته. وإن عملية إنتاج الجليد متعلقة بعدة عوامل، أحدها درجة حرارة الهواء.

خلافاً للمعتقد السائد بأن الجليد يذرف من المجلدات، خلال فترات الابتراد الكوني، فإن صفائح الجليد في هذه الأوقات تكون سميكة جداً، وتنساب منحدرة (لاسيما مجلدات وادي الألب) لتلتقط تربة السطح، والطمي، والرمل والجلاميد وتنفصل بعدئذٍ لتشكل جبال جليد عائمة. وقد تنساب صفائح الجليد نزولاً في منحدر أو صعوداً بفعل الزخم. وما إن تذوب جبال الجليد حتى تترسب المواد العائمة والملتقطة من قبل المجلدات. فإن الترسبات في أعماق المحيطات، بسبب نقص التيارات القوية وبعد المسافة عن الشواطئ، تكون ناعمة جداً. كما، قد تحوي ترسبات قعر البحار رماداً من براكين بعيدة، وغباراً تنفثه الرياح، وغباراً من خارج الأرض وأصدافاً من كائنات قديمة (بخاصة الهائمات العائمة) ومواد متساقطة من جبال جليدية منصهرة. وفي كل مرة تذوب فيها جبال الجليد، يتكوّن شلال من الرمل الخشن المتبلور، وبلورات صخرية وجلاميد في وحول قعر البحر الناعمة. هذا وتحصل عمليات تجميع وذوبان الجبال الجليدية طوال الوقت، ولكن خلال فترات من المناخ البارد تتجمع سلاسل من الجبال الجليدية[1244]. وقد لوحظت طبقات الجلاميد المتساقطة منذ فترة طويلة في ترسبات تشكّلت في كلّ عصر جليدي. ومتى ما تندفع الجبال الجليدية إلى مرتفعات أدنى، تذوب. لقد كان الذي أدى إلى غرق السفينة تايتانيك (Titanic) هو أحد هذه الجبال الثلجية المندفعة جنوباً. هذا ويصبح الشحن (Shipping) خلال فترات باردة أكثر خطورة، حتى في مناطق موجودة على خطوط

C. L. Hulbe [et al.], «Catastrophic Ice Shelf Breakup as the Source of Heinrich Event (1244) Icebergs,» *Palaoeoceanography*, (2004), doi: 10,1029/2003PA000890.

عرض منخفضة، لأن جبهة الجليد تكون على خط عرض منخفض.

وهناك دلائل تشير إلى أن جبال الجليد اندفعت أكثر جنوباً من القطب الشمالي إلى ساحل شمال أفريقيا خلال الفترة الباردة الأخيرة (قبل 118000 ـ 14000 عام). وعليه، تحوي الجبال الثلجية رسائل من اليابسة. وتترسب طبقات المواد المبلورة عادة من جبال جليدية منصهرة، وقد اكتشف ذلك في أواخر ثمانينيات القرن العشرين هارتموت هاينريخ (Hartmut Heinrich)، وسمّاها أحداث هاينريخ. قيست أحداث هاينريخ إلى ما قبل 60000 عام ماضية، مبيّنةً أن الفترة الجليدية الأخيرة كانت بعيدة عمّا كان غطاءً لصفيحة الجليد[1245]. وقد نبذت المواد من أحداث هاينريخ الخمسة الأخيرة في شمال المحيط الأطلسي المستمدة من مصادر قارية قديمة تحيط ببحر اللابرادور (Labrador)[1246][1247] في البحر بسبب تدفق صفيحة جليد لورنتايد (Laurentide)[1248]. وتبين أجزاء أخرى من المحيط الأطلسي الشمالي أن صفائح الجليد الأوروبية كانت سائدة من قبل[1249]، ورسبت مواد ضمت لاحقاً في صفيحة جليد لاورنتايد[1250]. تطلبت طبقات هاينريخ من 50 إلى 1250 عاماً لتقديم جبال جليدية لإنتاج طبقة هاينريخ سماكتها 10 سنتيمترات في شمال المحيط الأطلسي[1251].

في كل مرة حدثت فيها قوة جليدية وترسب لأحداث «هاينريخ»، كان هناك انخفاض مفاجئ في درجة الحرارة العالمية مقداره بضع درجات. ولم تؤثر

(1245) W. S. Broecker and S. Hemming, «Climate Swings Come into Focus,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 2308-2309.

(1246) S. R. Hemming [et al.], «Provenance of Heinrich Layers in Core V28-82, Northeastern Atlantic: $^{40}Ar/^{39}Ar$ Ages of Ice-rafted Hornblendem Pb Isotopes in Feldspar Grains, and Nd-Sr-Pb Isotopes in the Fine Sediment Fraction,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 164 (1998), pp. 317-333.

(1247) S. Huon [et al.], «Sources of Fine-Sized Organic Matter in Northern Atlantic Heinrich Layers: $\partial^{13}C$ and $\partial^{15}N$ Tracers,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 66 (2002), pp. 223-239.

(1248) W. Broecker [et al.], «Origin of the North Atlantic's Heinrich Events,» *Climate Dynamics*, vol. 6 (1992), pp. 265-273.

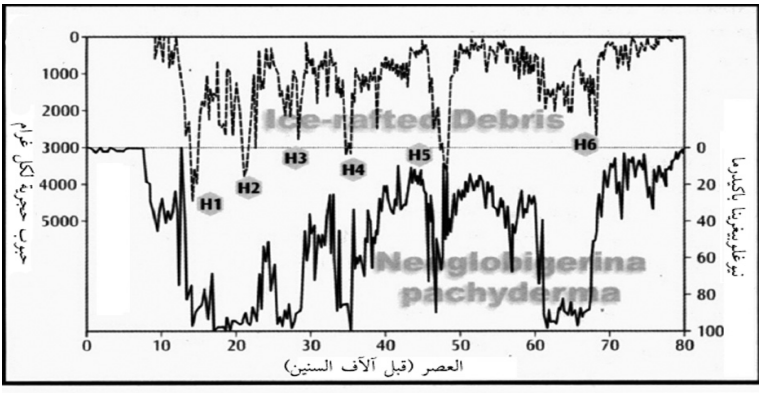
(1249) F. E. Grousset [et al.], «Were the North Atlantic Heinrich Events Triggered by the Behaviour of the European Ice Sheets,» *Geology,* vol. 28 (2000), pp. 123-126.

(1250) J. D. Scourse [et al.], «The Origin of Heinrich Layers: Evidence from H2 for European Precursor Events,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 182 (2000), pp. 187-195.

(1251) J. A Dowdeswell [et al.], «Iceberg Production, Debris Rafting, and the Extent and Thickness of Heinrich Layers (H-1, H-2) in North Atlantic Sediments,» *Geology*, vol. 23 (1995), pp. 310-304.

هذه الفترات الباردة في المحيطات فحسب، بل أثرت أيضاً في البحيرات الداخلية. على سبيل المثال، انخفض مستوى سطح البحر الميت انخفاضاً شديداً في كل مرة كان فيها حدث هاينريخ، مبيناً أن تساقط الأمطار قد تناقص. ويبيّن هذا أن أحداث هاينريخ هي انعكاس لفترات من الابتراد الكوني. وقد سجلت دورات بوند (Bond Cycles) وأمدها 1500 عام في أعمق بحيرة على الأرض واسمها بحيرة بيكال (Lake Baikal)، مبيّنة أن فترات ابتراد مثل أحداث هاينريخ ليست خاصة بالمحيطات[1252].

إن انشعاب (cleaving) جبل جليدي حدث سريع، غير أنه لا يتعلق بدرجة الحرارة وإنما ينتج من الانخساف، وتراكم الجليد وانسياب الجليد الذي حدث قبل مدة زمنية طويلة.



الشكل 26: عدد كاف من المنخربات الطافية على المياه الباردة (Neoglobigrina pachyderma) **مبينة الفترات الأبرد وتقلب درجة الحرارة خلال التجلد الأخير. وكانت هناك فترة باردة مطولة (قبل 70000 إلى 63000 عام) بعد هيجان توبا** (Tupa Eruption) **(قبل 74000 عام). وكانت هناك دورات باردة (قبل 48000، 36000 و27000 عام) وبرد قارس قبل 25000 إلى 15000 عام. ولم تكن هناك تقلبات شديدة خلال الـ 6000 عام الماضية من الفترة ما بين الجليدية لدرجة الحرارة المشابهة للتجلد. وإن فترات أنقاض مليئة بالجليد (طبقات هاينريخ) تبين كميات من جبال جليدية تنشعب من صفائح جليدية، وهذه صفة من الأزمنة الباردة، وليس الأزمنة الدافئة.**

(1252) A. A. Prokopenko [et al.], «Continental Response tp Heinrich events and Bond Cycles in Sedimentary Record of Lake Baikal, Siberia,» *Global and Planetary Change*, vol. 28 (2001), pp. 217-226.

كانت دورات دانسغار ـ أوشغر[1253] (Dansgaard-Oeschger) وأحداث هاينريخ خلال الـ 100000 عام الماضية، هي العلامة السائدة لتغير المناخ فوق غرينلاند وشمال الأطلسي. وتم تسجيل تتابع الأزمنة الباردة والدافئة المتعلقة بهذه الدورات في النصف الشمالي للكرة الأرضية كله، وجنوب أميركا، ونيوزيلندا، والقطب الجنوبي، وجنوب الأطلسي، والمحيط الجنوبي. أثّرت دورات دانسغارد ـ أوشغر في نصفي الكرة الأرضية، وإن أحداث هاينريخ هي استجابة إلى الانسياب المتقطع لصفائح جليد لورنتايد وصفائح الجليد الاسكندنافية[1254].

إن محاولة استعمال تشعيب المجلدات لتبيان أن هناك احتراراً كونياً أمر ساذج ومضلل. فلا تنمو صفائح الجليد أو تذوب ببساطة استجابة لدرجة الحرارة الكونية. وكان للنصف الشمالي للكرة الأرضية صفائح جليد عمرها 2.5 مليون عام، بينما كان للقطب الجنوبي صفائح جليد عمرها 37 مليون عام. ولا يمكن للذوبان البسيط لصفائح الجليد أو نموها استجابة لدرجة الحرارة فقط أن يفسر ذلك. وتنمو المجلدات، وتنساب وتذوب باستمرار، وفي ذلك مجموعة من المكاسب والخسائر. فعلى سبيل المثال في العام 1997، تغيرت مجلدة جاكوبزهافن إزبري (Jakobshavn Isbrae) التي تغذي زقاقاً بحرياً عميقاً في المحيط على ساحل غرينلاند الغربي، من الكثيف البطيء إلى الرفيع السريع، فيما يتعلق بمضاعفة سرعة نمو المجلدة. ويقترح نموذج، بشكل خاطئ، أنه قد يكون هناك مزيد من مياه الصيف المنصهرة التي تزلق أسفل المجلدات. ويقترح نموذج آخر أن الجليد العائم في الزقاق البحري في نهاية المجلد قد بدأ بالتفكك، سامحاً لانسياب المزيد من الجليد في الزقاق. وفي هذا النموذج، ليس هناك ذكر للتغير كآلية بديلة لانسياب الجليد. واقترح عمل جديد أن وصول المياه الدافئة من بحر إرمنغر من آيسلاندا حفز تزايد الانسياب في مجلدة جاكوبزهافن إزبري[1255]. ومرة أخرى، لم يكن هناك ذكر للتغير أو لحقيقة أن

(1253) اهتزازات المناخ عالية التكرار مع دورات 1000 أو 1450 أو 3000 سنة في لب جليد غرينلاند.

(1254) D. C. Leuschner and F. Sirocko, «The Low-Latitude Monsoon Climate during Dansgaard-Oeschger Cycles and Heinrich Events,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 19 (2000), pp. 243-254.

(1255) D. M. Holland [et al.], «Acceleration of Jakobshavn Isbrae Triggered by Warm Subsurface Ocean Waters,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 659-664.

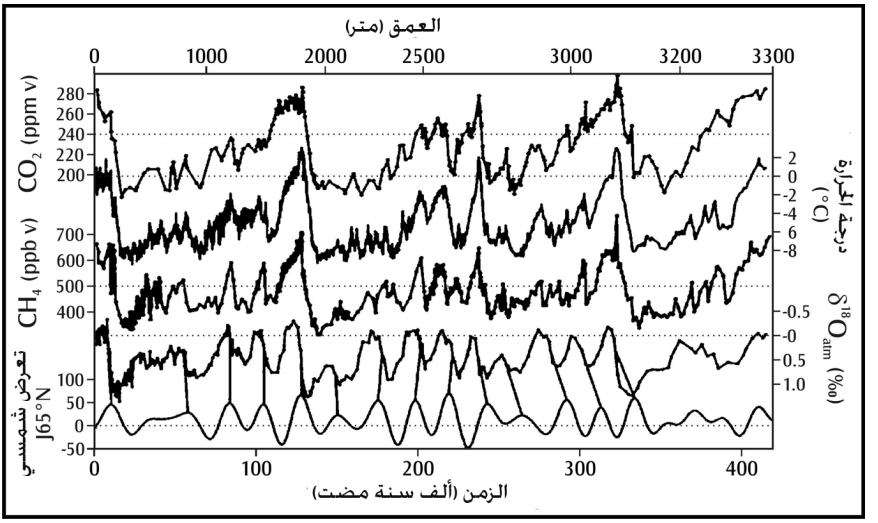
انسياب الجليد يبدأ في مصدر المجلدة. وليس ذوبان المجلدات هو رائد الاحترار الكوني لأن دوران المحيط والغلاف الجوي ليسا مفهومين فهماً جيداً. غير أن انشعاب الجبال الجليدية تبدو كرواية سينمائية جيدة لرسالة كارثية.

وربما يصل سمك صفائح الجليد في غرينلاند والقطب الجنوبي إلى 3 كيلومترات. فهي تراكم قاري واسع من الثلج الذي انضغط في الجليد. وعندما يسقط الثلج على صفيحة الجليد، تنتشر صفيحة الجليد وترقّ بتأثير ضغط وزنها. وعندما ينساب الجليد، يمكن لكميات صغيرة أن تذوب على حافة انسياب الجليد أو المجلدة وعند الحافة الأمامية عند مستوى سطح البحر، يتفكك الجليد ليشكل جبالاً جليدية تندفع بعيداً. غير أن المياه التي تشكل الثلج تأتي من تبخر مياه المحيط. وينتج من ارتفاع في درجة الحرارة تزايد في التبخر، وتزايد في تساقط الثلج، الذي يمكن أن ينتج منه انخفاض في مستوى سطح البحر. ويمكن لمستوى سطح البحر أيضاً أن ينخفض إذا كان هناك تناقص في ذوبان الجليد أو تناقص في معدل انسياب الجليد إلى البحر. وإذا كان معدل ذوبان الجليد أسرع من تراكم الثلج، فسوف يرتفع مستوى سطح البحر. كما يمكن لمستوى سطح البحر أن يرتفع أيضاً مع اتساع مياه المحيط. ويمكن لمستوى سطح البحر أن يرتفع أو ينخفض إذا تغير شكل اليابسة أو قعر المحيط. علماً بأن صفائح الجليد تغطي نحو 10 في المئة من سطح اليابسة في العالم. وإذا ذابت هذه الصفائح كلياً، فسوف يزداد مستوى سطح البحر 70 متراً. وقد حدث هذا من قبل، وسيحدث مرة أخرى.

هنالك العديد من القصص مخفية في صفائح الجليد. فالجليد صخر ترسبي. وإن لب الجليد مثل صخور ترسبية طبقية تعطينا سجلاً عن الماضي. إن تساقط الثلج الأخير محافظ عليه في هذه البنية، وهو يغطى بتساقط آخر للثلج ثم يغطى أيضاً بتساقط آخر وهكذا. تقول لنا الطبقات الأعلى شيئاً عن الأحداث الحديثة، وتعطينا الطبقات العميقة معلومات عن أحداث قديمة. إن الجليد أرشيف عمودي عن مناخات قديمة، وانفجارات بركانية، وعواصف غبارية، ورياح قوية قديمة، وانفجارات سوبرنوفا، ومشاهد نيزكية قديمة، وغبار مذنبي، ونشاط شمسي.

تفضل عملية التبخر مياهاً ذات أكسجين أخف (O^{16}). وتتساقط هذه المياه كثلج، وتتراكم كصفائح جليد. خلال عملية التجلد يزال الأكسجين الخفيف من

المحيطات فتصبح المياه في المحيطات مركزة نسبياً بالأكسجين الثقيل (O^{18}). وهكذا تكون الحياة[1256]. تصبح الكائنات البحرية العائمة في الأزمنة الجليدية غنية بـ O^{18}، بينما كانت في الأزمنة الأدفأ غنية بـ O^{16}. وإضافةً إلى ذلك، فمع قياس الأكسجين في الجليد، يمكن حساب درجة الحرارة الماضية في موقع تساقط الثلج. وتعطينا كميات أثرية مقفاة من نظائر أخرى في الجليد مثل الـ C^{14} والـ Be^{10} تاريخاً لنشاط الشمس وللدخل المتنوع من الإشعاع الكوني.



الشكل 27: قصة من 400000 عام يرويها لب الجليد تبين درجة حرارة الـ CO_2 الماضية المحسوبة، الميثان (CH_4)، وتركيب نظير الأكسجين، ودخل الطاقة الشمسية. وتبين دورات المناخ هذه أن الأزمنة الحالية ليست مختلفة عن أزمنة ماضية ما بين جليدية عديدة.

يمكن استعمال تساقط الرماد البركاني كساعات توقيت في طبقات الجليد لأنها تنتج من أحداث فورية تقريباً. ويمكن إيجاد تأريخ هذا الرماد البركاني بدقة شديدة وبتنوع شديد من تقنيات التأريخ النظائري، ويمكن استعمال كيمياء الرماد البركاني لتحديد أي بركان هائج. وتقذف بعض البراكين كميات كبيرة من كبريت الهيدروجين (غاز البيض الفاسد) وثاني أكسيد الكبريت، الذي يتأكسد ويختلط مع الماء لتشكيل حمض الكبريتيك، ويحافظ على ذلك كطبقة غنية بالكبريت في الجليد.

[1256] N. Shackleton, «Oxygen Isotopes, Ice Volumes and Sea Level,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 6 (1987), pp. 183-190.

تضيف الأزمنة الرياحية الباردة غباراً ورذاذاً بحرياً للثلج، وتحفظ هذه أيضاً في الجليد. وإن الغبار المضاف خلال فترات من الجفاف يحفظ هو الآخر في الجليد. يسقط حوالى 40000 طن من الغبار من خارج الأرض من الفضاء على الأرض في كل عام. وإن الغبار، والمذنبات والأحجار النيزكية، يمكن استعمالها لتحديد التغيرات في النشاط المجري خارج الأرض. يسقط مزيد من غبار المذنبات في كل عام ولاسيما في تشرين الثاني/نوفمبر، ويمكن استعمال الغبار لقياس الزمن. وحتى انفجارات السوبرنوفات الفائقة مسجلة في الجليد لأن التدفق الشديد للإشعاع يكون نيتروجيناً خاصة وأحماضاً في الغلاف الجوي العلوي. وإن هذه علامة كيميائية فريدة. تسقط هذه الأحماض على الأرض وتحفظ في الجليد. كما تحافظ البحيرات أيضاً على غبار المذنبات والأحجار النيزكية والبراكين، وبمقارنة أحداث الغبار يمكن تمييزها إن كانت عالمية أو محلية.

يمكن استعمال الغبار المقيد، وفقاعات الهواء، في الجليد لقياس تركيز الـ CO_2 في الأزمنة الغابرة، وكذلك والميثان، والأوزون ومركبات النيتروجين[1257]. غير أن فقاعات الهواء تتحرك إلى الأعلى في الجليد الذي تعاد بلورته عندما يذوب ويصدر محتويات الهواء. كما أن المعلومات عن الهواء في الأزمنة القديمة تستحصل باستخدام مضامين الهواء من عيّنة ناعمة. كان اليونانيون يقومون بأعمال التعدين (فضة ـ رصاص) في بحيرة لافريون (آتيكا) (Lavrion Attika) وذلك لتمويل الحروب البونية (Punic wars). وترك التعدين اليوناني في آتيكا وتعدين القاعدة الرومانية (Roman base) في إسبانيا علامته في النصف الشمالي للكرة الأرضية. ويزور السياح قنوات جر المياه الأثرية، والطرق، والجدران، والأقواس والمسارح والتذكاريات، ولكن التركة الرومانية الأعظم هي التعدين والتنقية، وقد احتاج الرومان إلى الرصاص كمعدن مقاوم للتآكل والصدأ في بناء السفن وتخزين الطعام. وضاعف صهر معدن الرصاص أربعة أضعاف محتوى الرصاص في الغلاف الجوي ولوث أوروبا كلها. وتقع، بخلاف العادة، كميات من الرصاص في صفائح جليد غرينلاند التي تشكلت

(1257) D. M. Etheridge, G. I. Pearman and F. de Silva, «Atmospheric Trace-Gas Variations as Revealed by Air Trapped in an Ice Core from Law Dome, Antarctica,» *Annals of Glaciology*, vol. 10 (1988), pp. 28-33.

بين 600 قبل الميلاد و300 بعد الميلاد[1258]. إن لهذا الرصاص بصمة كيميائية تعود للمناجم في حزام بيريت الإيبيرية التي كان يستعملها السلتيون (Celts)، والملك سليمان، والقرطاجيون والرومان.

يظهر الهواء المحصور في جليد القطب الجنوبي من «قبة القانون» (Low Dome) أن تزايداً كان خلال 2000 عام الماضية في تركيز CO_2 (29 في المئة)، والميثان (150 في المئة) وأكسيد النيتروجين N_2O (21 في المئة)، وأن الـ CO_2 استقر ضمن 310 ـ 312 ppmv من 1940 ـ 1955 متزامناً مع تناقص في معدل نمو الميثان وأكاسيد النيتروجين، ولم يكن هنالك أي نقصان من انبعاثات CO_2 ابتداءً من 1940-1955 وقد يكون المحيط قد شفط CO_2 بدلاً من النباتات[1259]. وعلى الرغم من أن استقرار CO_2 حدث خلال تحول من ظروف إل نينو إلى لانينا، والتحولات الأخرى من إل نينو إلى لانينا، إلا أنه لم ينتج بعدها استقرار طويل الأمد للـ CO_2.

إن التغير المفاجئ في أكسيد النيتروجين بين عام 610 وعام 870 غير مفسّر. ويسجل سجل جليد قبة القانون CO_2 (Law Dome) وميثان وأكسيد نيتروجين أدنى في العصر الجليدي الصغير، ربما كنتيجة للبيوسفير الأرضي الأبرد. وتبين دراسات عدة أن تركيب الغاز يتجاوب مع تغيرات في المناخ ولا يبدأ تغيراً مناخياً[1260][1261].

تعرض نهاية المجلدات في بعض الأحيان تراجعات وتقدمات عديدة[1262]. وفي أوقات أخرى، تبقى مقدمة الجليد ثابتة[1263]. على سبيل المثال، يمكن

1258 S. Hong [et al.], «Greenland Ice Evidence of Hemispheric Lead Pollution Two Millennia ago by Greek and Roman Civilizations,» *Science*, vol. 265 (1994), pp. 1841-1843.

1259 C. MacFarling Meure [et al.], «Law Dome CO_2, CH_4 and N_2O Ice Core Records Extended to 2000 Years BP,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), doi: 10.1029/2006GL026152.

1260 W. F. Ruddiman, «The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago,» *Climate Change,* vol. 61 (2003), pp. 261-293.

1261 E. Bauer [et al.], «Assessing Climate Forcings of the Earth System for the Past Millennium,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003), doi 10.1029/2002GL016639.

1262 M. A. E. Browne, «Late-Devensian Marine Limits and Pattern of Deglaciation of the Strathern Area, Tayside,» *Scottish Journal of Geology*, vol. 16 (1980), pp. 221-230.

1263 J. Everest and P. Kubik, «The Deglaciation of Eastern Scotland: Cosmogenic ^{10}Be Evidence for a Late Glacial Stillstand,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 21 (2006), pp. 95-104.

ربط تراجع وتقدم أطراف صفيحة الجليد التي غطت اسكوتلندا بتأريخ الحيوانات المجهرية البحرية[1264]. وحدثت عدة تقدمات وتراجعات قبل أن تصبح اسكوتلندا خالية من الجليد. ودفع حمل الجليد اسكوتلندا إلى الأسفل، وعندما ذاب الجليد بدأت اسكوتلندا بالارتفاع. ولا تزال ترتفع، مع عدة رجفات أرضية مثل العلامة الدالة التي تخبرنا أن الصخور تلتوي وتتكسر[1265]. وتبين نتائج مشابهة من إيرلندا أن صفيحة جليد الجزر البريطانية التي تشكلت خلال التجلد الأخير كانت تتقدم وتتراجع كاستجابة لتغير مناخي إقليمي كبير[1266].

ربما كان ذوبان صفيحة جليد لورنتايد في شمال أميركا حدثاً سريعاً. فقد وصلت صفيحة الجليد هذه جنوباً حتى نيويورك وأوهايو، وكانت سماكتها ثلاثة كيلومترات. وكانت قبل 20000 عام مضت إحدى أكبر الصفائح الجليدية على الأرض. إن عمليات الذوبان السريع لصفائح الجليد مفهومة فهماً ضعيفاً، وملاحظات الصفائح الجليدية الحديثة غير مباشرة وليست متوافقة[1267].

فقد بيّنت مقاربة جديدة تستعمل Be^{10} في بقايا متروكة من جليد، وعمر C^{14} لمواد نباتية، أن تراجع صفيحة جليد لاورنتايد كان سريعاً وساهم بارتفاع مستوى سطح البحر بـ 1.3 متر في القرن (قبل 9000 إلى 8500 عام مضت) و0.7 متر في القرن (قبل 7600 إلى 6800 عام)[1268]. وإن تغيرات كهذه في مستوى سطح البحر متعادلة مع متر واحد في القرن في الأزمنة ما بعد الجليدية (من 14000 عام حتى الآن).

استجابت صفيحة جليد القطب الجنوبي الشرقية لفترة موثقة جيداً من

(1264) A. M. McCabe [et al.], «A Revised Model for the Last Deglaciation of Eastern Scotland,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 313-316.

(1265) J. B. Sissons, D. E. Smith and R. A. Cullingforth, «Late-Glacial and Post-Glacial Shorelines in South-East Scotland,» *Transactions of the British Institute of Geographers,* vol. 39 (1966), pp. 9-18.

(1266) H. P. Sejrup [et al.], «Late Weichselian Glaciations History of the Northern North Sea,» *Boreas*, vol. 35 (1994), pp. 231-243.

(1267) M. Siddall and M. R. Kaplan, «A Tale of Two Ice Sheets,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 570-571.

(1268) A. E. Carlson [et al.], «Rapid Early Holocene Deglaciation of the Laurentide Ice Sheet,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 620-624.

الاحترار الكوني قبل ثلاثة ملايين عام[1269]. ويقول فريق من العلماء إن مناخاً قطبياً جافاً كان سائداً في ذلك الوقت (على سبيل المثال، أودية جافة، شرق القطب الجنوبي)[1270]، بينما يقول فريق آخر إن صفيحة جليد شرق القطب الجنوبي تراجعت[1271]، وإن أحفوري أتربة قبل ثلاثة ملايين عام في شرق القطب الجنوبي هي أتربة توندرا، وترسبات أنهار تحوي أحفوري نبات (حشائش، وشجيرات، وحزاز وطحالب واشفات)، وحشرات ولافقاريات[1272]. وقد بيّنت هذه أن شرق القطب الجنوبي كان مثل سيبيريا الحديثة. ويدل هذا أيضاً على أن القطب الجنوبي كان أدفأ نسبياً من الآن قبل ثلاثة ملايين عام فقط مع متوسط درجات حرارة الشتاء بـ 12 درجة مئوية تحت الصفر ومواسم صيفية قصيرة مع درجات حرارة تصل إلى 5 درجات مئوية[1273].

تحتل صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي حوضاً يمتد إلى ما دون مستوى سطح البحر الحديث. وإن الجليد في حافة الصفيحة قابل للانهيار. بيّنت دراسات للمواد الكيميائية البيولوجية في «بحر روس» أن مقداراً كبيراً من الماء المذاب سقط في بحر روس قبل 18000 عام، و10500 عام، وقبل 5500 عام، و2500 عام و1500 عام[1274]. وأثّر هذا في دوران مياه الأنتاراكيتك مع تيارات مياه جنوبية تتحرك شمالاً[1275]. إذا انهارت صفائح الجليد في غرب القطب الجنوبي مرةً أخرى وذابت فلا يجب أن نتفاجأ، فقد حدث هذا عدة مرات قبل

1269) P. J. Barrett [et al.], «Geochronological Evidence Supports Antarctic Deglaciation Three Million Years Ago,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 816-818.

1270) G. H. Denton [et al.], «East Antarctic Ice Sheet Sensitivity to Pliocene Climate Change from a Dry Valleys Perspective,» *Geografiska Annaler Stockholm,* vol. 75a (1993), pp. 155-204.

1271) P. N. Webb [et al.], «Cenozoic Marine Sedimentation and Ice Volume Variation on the East Antarctic Craton,» *Geology*, vol. 12 (1984), pp. 287-291.

1272) C. E. Francis [et al.], «Tundra Environments in the Neogene Sirius Group, Antarctica: Evidence from the Geological Record and Coupled Atmosphere-Vegetation Models,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 317-322.

1273) H. J. Dowsett [et al.], «Middle Pliocene Palaeoenvironmental Reconstruction: PRISM2. US,» *Geological Survey Open-File Report* (1999), pp. 99-535.

1274) N. Ohkouchi [et al.], «Massive Melting of West Antarctic Ice Sheet during the Latest Pleistocene and Holocene: Hydrogen Isotopic Records of Sedimentary Biomarkers in Ross Sea,» *Geochemica et Cosmochimica Acta, vol.* 70 (2006), p. 453.

1275) K. Pahnke, S. L. Goldstein and S. R. Hemming, «Abrupt Changes in Antarctic Intermediate Water Circulation over the Past 25,000 Years,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 870-874.

عصر التصنيع، وسيحدث مرة أخرى. وتظهر عدة أحداث لانهيار صفيحة جليد القطب الجنوبي الغربي بعصور الشواطئ الرملية المرتفعة[1276]، وعصر التعرض السطحي للترسبات الجليدية[1277] وترسبات قاع البحر[1278][1279].

القطب الشمالي (الأركتيك)

علينا أن نفهم المحيط المتجمد الشمالي كي نستطيع فهم القطب الشمالي. إن تاريخ المحيط المتجمد الشمالي غير معروف وهو مستدل عليه من دلائل غير مباشرة. فقد بيّنت دلائل من ثقوب عميقة في مرتفعات لومونوزوف (Lomonosov Ridge) في محيط القطب الشمالي انتقالاً من أزمنة رطبة دافئة إلى أزمنة أبرد قبل حوالى 55 مليون عام[1280]. وبيّنت أعمال أخرى أن هذا الانتقال حدث قبل حوالى 34 مليون عام[1281]. كانت هناك فترة دافئة قبل 14 مليون عام، ومنذ ذلك الحين والكوكب يتعرض إلى تقلبات كبيرة في درجات الحرارة خلال منحى ابترادي طويل الأمد. ولقد بينت بقايا الجليد أن جبالاً جليدية كانت هناك قبل 45 مليون عام، أي حوالى 35 مليوناً قبل أبكر مما كان يظن، فاتسعت صفيحة جليد غرينلاند قبل 3.2 مليون عام. وإذا أمكن اثبات ذلك بمزيد من البحث، سيتزامن توقيت ابتراد القطب الشمالي مع ابتراد القطب الجنوبي. وهناك مجموعة من الدلائل تبين أن ابتراد القطب الجنوبي بدأ قبل 37 مليون عام[1282] وبالتالي فإن عمر جبال القطب الشمالي الثلجية (45 مليون عام) غير مفسرة. وهذا مناقض لمعلومات أخرى بيّنت أن الاحترار

(1276) H. Conway [et al.], «Past and Future Grounding-Line Retreat of the West Antarctic Ice Sheet,» *Science*, vol. 286 (1999), pp. 280-283.

(1277) J. O. Stone [et al.], «Holocene Deglaciation of Marie Byrd Land, West Antarctica,» *Science,* vol. 299 (2003), pp. 99-102.

(1278) K. Pahnke [et al.], «340,000-Year Centennial-Scale Marine Record of Southern Hemisphere Climatic Oscillations,» *Science*, vol. 301 (2003), pp. 948-952.

(1279) N. Ohkouchi [et al.], «Massive Melting of West Antarctic Ice Sheet during the Latest Pleistocene and Holocene: Hydrogen Isotopic Records of Sedimentary Biomarkers in Ross Sea,» *Geochemica et Cosmochimica Acta*, vol. 70 (2006), p. 453.

(1280) K. Moran [et al.], «The Cenozoic Palaeoenvironment of the Arctic Ocean,» *Nature*, vol. 441 (2006), pp. 601-605.

(1281) H. Pälike and F. Hilgen, «Rock Clock Synchronization,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), p. 282.

(1282) K. Billups, «A Tale of Two Climates,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 294-295.

القطبي الشمالي يحدث عندما يكون هناك ابتراد قطبي جنوبي، والعكس صحيح[1283][1284]. ونادراً ما يتم توطيد الأمور العلمية بالدقة اللازمة في هذا المضمار.

لقد كان مناخ القطب الشمالي معقداً دائماً[1285] غير أن تفسيرات سطحية عن تغير مناخ القطب الشمالي كانت تصدمنا على الدوام. وكثيراً ما نسمع في الإعلام عن احترار لا سابق له للقطب الشمالي. وهناك طريقة جيدة لاختبار هذا الادعاء ألا وهي الذهاب إلى جزيرة بافن (Baffin Island)، في كندا، أحد أبرد أجزاء العالم، وقياس طبقات الغبار، والأحفوري ونظائر الأكسجين. فقد بيّنت طبقات الغبار من بعض بحيرات جزيرة بافن أن درجة الحرارة كانت أدفأ بخمس درجات مئوية قبل 10000 عام و8500 عام من الآن[1286]. ويتوافق هذا مع قياس طبقات غبارية سابقة[1287]، وأحفوري المشطورات دياتوم[1288] (Diatom Fossils) في بحيرات جزيرة بافن. كما يتوافق هذا مع أبحاث أجريت في أماكن أخرى في القطب الشمالي الكندي[1289]، ويتوافق كذلك مع قياس نظير الأكسجين، ودرجة حرارة الصيف في بحيرات غرينلاند[1290]، وحساب صفائح جليد غرينلاند[1291]،

(1283) N. Shackleton, «Climate Change across the Hemispheres,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 58-59.

(1284) T. Blunier [et al.], «Asynchony of Antarctic and Greenland Climate Change during the Last Glacial Period,» *Nature*, vol. 394 (1998), pp. 739-743.

(1285) S. R. O'Brien [et al.], «Complexity of Holocene Climate as Reconstructed from Greenland Ice Core,» *Science,* vol. 270 (1995), pp. 1962-1964.

(1286) J. P. Briner [et al.], «A Multi-Proxy Lacustrine Record of Holocene Climate Change on Northeastern Baffin Island, Arctic Canada,» *Quaternary Research,* vol. 65 (2006), pp. 431-442.

(1287) M. W. Kerwin [et al.], «Pollen-Based Summer Temperature Reconstructions for the Eastern Canadian Boreal Forest, Subarctic, and Arctic,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 23 (2004), pp. 1901-1924.

(1288) E. H. III Joynt and A. P. Wolfe, «Paleoenvironmental Inference Models from Sediment Diatom Assemblages in Baffin Island Lakes (Nunavut, Canada),» *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 58 (2000), pp. 1222-1243.

(1289) R. S. Bradley, «Holocene Palaeoclimatology of the Queen Elizabeth Islands, Canadian High Arctic,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 9 (1990), pp. 365-384.

(1290) J. B. Murton [et al.], «Basal Ice Facies and Supraglacial Melt-Out till of the Laurentide Ice Sheet, Tuktoyaktuk Coastlands, Western Arctic Canada,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 24 (2005), pp. 681-708.

(1291) D. Dahl-Jensen [et al.], «Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 268-271.

وأحفوري[1292] من اللب البحري في خليج بافن الشمالي. إن الدلائل من جزيرة بافن وغرينلاند، المجاورة واضحة، ونحن لسنا في فترة احترار لا سابق لها للأركتيك، فقد كان هذا الجزء من الأركيتك أدفأ بكثير قبل بضع آلاف السنين. ويبقى السؤال: هل كان هذا الاحترار لجزيرة بافن وغرينلاند ميزة محلية قبل 10000 و8500 عام ماضية أم كان أكثر انتشاراً؟

يبيّن تاريخ حلقات الأشجار في سيبيريا أن تطور الغابات الشمالي بدأ قبل حوالى 10000 عام، وتقدم حتى ما قبل 7000 عام، ثم تراجع إلى وضعه الحالي قبل 4000 إلى 3000 عام ماضية[1293]. وكانت درجة حرارة الصيف لشمال سيبيريا في ذروة تطور الغابات أدفأ بـ 2.5 إلى 7.0 درجات مئوية مما هي عليه الآن. وبيّنت مراجعة لكل الأبحاث التي أجريت في المجالات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية في القطب الشمالي[1294] أن الجو كان أدفأ قبل 10000 عام قياساً بالظروف الحالية ولـ 120موقعاً من المواقع الـ 140 المقيسة.

لقد كان القطب الشمالي أدفأ نسبياً من الآن ابتداءً من عام 1920 حتى 1940. استمدت معظم الدلائل لهذا من الكتابات القديمة من الاتحاد السوفياتي سابقاً[1295]. وتراجعت التجلدات في عام 1905 وحتى عام 1933، وانتقل حد الجمد السرمدي (Permafrost Boundary) 40 كيلومتراً، وتناقص جليد البحر، وتسارع انجراف الجليد، وتغيرت طرق الزوابع، وتناقصت درجة حرارة الهواء، وكان العبور من خلال طرق مياه شمالية أسهل، وحصل تزايد في درجة الحرارة والمحتوى الحراري لمياه الأطلسي الداخلة إلى حوض القطب الشمالي. وفي رحلة برسي عام 1934، لاحظ زوبوف (Zubov) أن تجلدات جان ـ ماين (Jan - Mahen) وسبتسبرغن (Spitsbergen) قلصت مقارنةً بالملاحظات البريطانية لعام 1911. وكانت تجلدات نوفايا زملیا (Novaya Zemlya) تتراجع ثم ذابت جسور الجليد بين بعض جزر فرانز ـ جوزف. وكانت مجلدات سبتسبرغن في تراجع،

(1292) E. Levac, A. de Vernal and W. Blake, «Holocene Palaeoceanography of the North Water Polynya,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 16 (2001), pp. 353-363.

(1293) G. M. MacDonald [et al.], «Holocene Treeline History and Climate Change across Northern Eurasia,» *Quaternary Research*, vol. 53 (2000), pp. 302-311.

(1294) D. S. Kaufman [et al.], «Holocene Thermal Maximum in the Western Arctic (0 to 180 ^{0}W),» *Quaternary Science Reviews*, vol. 23 (2004), pp. 529-560.

(1295) <http://psc.apl.washington.edu/publication/Arctic_Change/arctic.pdf>.

وكذلك كانت مجلدات آيسلاندا في الفترة بين 1935 ـ 1938. وكانت جزر فاسليفسكي (Vasilievsky) في بحر لابتف (Laptev) وجزر لياخوفسكي (Lyakhovsky) تتكوّن من الجليد.

كانت مساحة جليد البحر في بحر غرينلاند بين نيسان/ أبريل وآب/ أغسطس 1921 ـ 1939 أقل بـ 15 إلى 20في المئة مما كانت عليه بين 1898 ـ 1920، وخلال الفترات الزمنية نفسها، تناقصت مساحة جليد البحر في بحر بارنتس (Barents Sea) بـ 12 في المئة. وأصبح الجليد في القرن الماضي قريباً من إيرلندا. وخلال الفترة بين 1915 ـ 1940، لم يلاحظ أي جليد باستثناء جليد ثانوي عام 1929. وقبل احترار الأركيتك بين 1920 ـ 1940، تجمد مضيق يوغورسكي شار (Jugorsky Shar) في الشتاء متأخراً شهرين عن الأزمنة الأخرى. وبالقرب من أرض ديسكو وفرانز جوزيف، تزايد المد والجزر بـ 20 إلى 30 في المئة بسبب المقدار المتناقص للجليد. وكانت درجة الحرارة السنوية في فاردي (Varde) (شمال شرق النرويج) عام 1918 أعلى مما كانت عليه في القرن السابق، فقد كانت عام 1926 أقل قليلاً. وكانت درجة الحرارة السنوية في المنطقة الممتدة من غرينلاند إلى كيب تشلسوكين (Cape Tchelsukin) أعلى من حرارة أزمنة سابقة منذ عام 1930.

وبين عامي 1934 ـ 1935، كانت درجة حرارة كيب تشلسوكين أعلى بـ 4 إلى 10 درجات، وفي سبتسبرغن كانت أعلى بعشر درجات مئوية من الأزمنة السابقة. وكان متوسط درجة الحرارة السنوية المقاسة على رحلة بحرية على متن كروز فرام (Fram Cruise) (تشرين الثاني/ نوفمبر عام 1893 ـ آب/ أغسطس عام 1895) أدنى بـ 4.1 درجات مئوية مما كانت في رحلة كروز سيدوف (تشرين الثاني/ نوفمبر 1937 ـ آب/ أغسطس 1939)، على الرغم من كونها في المناطق ذاتها. ولم تقس درجات حرارة بأقل من ـ 40 درجة مئوية في محطة تيخايا على أرض فرانز ـ جوزيف بعد عام 1929، بينما، كانت درجات الحرارة الأدنى من ـ 40 تقاس في الشتاء باستثناء 1896.

تبيّن سجلات الملاحة أنه قبل ثلاثينيات القرن العشرين، كانت مناطق معتبرة من القطب الشمالي مغلقة بوجه السفن، وحتى لسفن تكسير الجليد. وكان من غير الممكن الوصول إلى أرض فرانز ـ جوزيف (فوكا، 1912) وكذلك الأمر مع نوفايا زمليا (إيرماك، 1910). كذلك، حبست سفن أخرى في

الجليد ونقلت من القطب الشمالي بعدئذٍ بصعوبة (سنت أنا، 1912). وفي الثلاثينيات، كانت السفن قادرة على السفر إلى شمال الطريق البحري، والسفر حول أرض فرانز ـ جوزيف (كنيبوفتش، 1932)، وسفرنايا (سيبيرياك، 1932). ولم تكن سفن كثيرة تكسر الجليد قادرة على القيام برحتلين للعودة في الصيف إلى نوفايا زمليا في الثلاثينيات.

قبل حوالى 12000 ـ 10000 عام، كان الاحترار مركزاً في شمال غرب أميركا الشمالية، بينما كان الجو بارداً في شمال شرق أميركا الشمالية، بسبب صفيحة جليد لاورنتايد المتلاشية... وبعد احترار ألاسكا وشمال غرب كندا، احتبس شمال شرق كندا بعد 4000 عام. وهذا يبيّن مرةً أخرى أن ما قيل عن مناخ عالمي ليس عالمياً، وإن الاحترار الكوني ليس ببساطة نتيجة إضافة الإنسان CO_2 إلى الغلاف الجوي للأرض فقط.

ثمة منحى احترار في ألاسكا قد لا يكون ممثلاً للقطب الشمالي، لكنه كان قد تأثر بالاهتزاز العَقدْي في المحيط الهادي للفترة 1976 ـ 1977[1296]. يتسم شمال المحيط الهادي بانتقالات مناخية كبيرة ومفاجئة تحصل خلال دورات من 30 عاماً تنتج من الاهتزاز العَقدْي في المحيط الهادي. وقد كان هناك 11 تحولاً كهذا منذ عام 1659، وعلى الرغم من أن ألاسكا تحتبس حرارياً نقيضاً لبقية أرجاء القطب الشمالي، فقد أعطى الاهتزاز العقدي للمحيط الهادي (1976 ـ 1977) ألاسكا الارتفاع الجديد في درجة الحرارة. إضافةً إلى ذلك، هناك أثر حراري مديني في ألاسكا، يظهر حتى في القرى الصغيرة[1297].

إن غرينلاند تحتبس حرارياً. فماذا يعني هذا؟ لا شيء! تبيّن سجلات درجات الحرارة في غرينلاند التي تقارن الاحترار الحالي (1975 ـ 2000) بالاحترار السابق (1920 ـ 1930) أن الاحترار الحالي له سوابق[1298]. إضافةً إلى ذلك، كانت القياسات التي تم تحليلها من محطات على شاطئ غرينلاند

(1296) Z. Gedaloff and D. J. Smith, «Interdecadal Climate Variability and Regime-Scale Shifts in Pacific North America,» *Geophysical Research Letters*, vol. 28 (2001), pp. 1515-1518.

(1297) K. M. Hinkel [et al.], «The Urban Heat Island in Winter at Barrow, Alaska,» *International Journal of Climatology*, vol. 23 (2003), pp. 1889-1905.

(1298) P. Chylek, M. K. Dubey and G. Lesins, «Greenland Warming of 1920-1930 and 1995-2000,» *Geophysical Research Letters,* vol. 13 (2006), L11707, doi: 10.1029/2006GL26510.

لا تعطي الصورة الكاملة. فهناك فوارق بارزة بين درجة الحرارة العالمية وسجلات درجة الحرارة في غرينلاند في الفترة بين 1881 ـ 2005. ويدل هذا مرة أخرى على أن «الاحترار الكوني» قد لا يكون عالمياً. إضافة إلى ذلك، وجد أن متوسطات العقود لدرجة الحرارة العالمية لما بعد عام 1955 أعلى (على سبيل المثال، مناخ أدفأ) من متوسط ما قبل 1955، وإن معظم متوسطات درجة الحرارة لما بعد عام 1955 في محطات قياس غرينلاند أدنى (على سبيل المثال، المناخ الأبرد) من متوسط درجة الحرارة لما قبل 1955. وتبيّن بيانات غرينلاند أن احترار 1920 ـ 1930 يظهر أن تركيزاً عالياً من CO_2 وغازات دفيئة أخرى هي ليست محركاً أساسياً للاحترار. وقد يكون الازدياد العام في النشاط الشمسي[1299] منذ تسعينيات القرن العشرين وتغيرات درجة حرارة سطح البحر للمحيطات القطبية[1300] عوامل مساهمة. وقد يكون تسارع مجلد غرينلاند الملاحظ خلال 1996 ـ 2005[1301] قد حدث سابقاً في احترار 1920 ـ 1940، وفترة الاحترار في العصور الوسطى عندما كانت درجات الحرارة في غرينلاند أعلى بكثير من اليوم[1302][1303]. لقد كانت تلك أزمنة تساقط شديد للثلج وتراكم أكبر للجليد في مقدمات المجلدات. وللانتهاء مع أسطورة الانهيار الكارثي لصفيحة جليد غرينلاند، يبدو أن صفيحة جليد غرينلاند تنمو[1304]، وتزداد سماكة الجليد في مرتفعات غرينلاند، وسينتج من هذا تزايد في معدل الانسياب الذي سيصل يوماً من الأيام إلى مقدمة الجليد[1305].

(1299) N. Scafetta and B. J. West, «Phenomenological Solar Contribution to the 1900-2000 Global Surface Warming,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), 10.1029/2005GL025539.

(1300) M. P. Hoerling, J. W. Hurrell and T. Xu, «Tropical Origins for Recent North Atlantic Climate Change,» *Science*, vol. 292 (2001), pp. 90-92.

(1301) E. Rignot and P. Kanagaratnam, «Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 311 (2006), pp. 986-990.

(1302) D. Dahl-Jensen [et al.], «Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 268-271.

(1303) P. DeMenocal [et al.], «Coherent High-and Low-Latitude Climate Variability during the Holocene Warm Period,» *Science*, vol. 288 (2000), pp. 2198-2202.

(1304) H. J. Zwally [et al.], «ICESA's Laser Measurements of Polar Ice, Atmosphere, Ocean and Land,» *Journal of Geodynamics*, vol. 34 (2005), pp. 405-445.

(1305) W. Abdalati [et al.], «Outlet Glacial and Marginal Elevation Changes: Near Coastal Thinning of the Greenland Ice Sheet,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 106 (2001), pp. 33729-33741.

كان هناك توقعات كئيبة تنذر بذوبان جليد بحر القطب الشمالي في عام 2008، وأنه سيكون القطب الشمالي للمرة الأولى خالياً من الجليد[1306]. وإذا ذاب جليد البحر، ستمتص المياه مزيداً من الطاقة الشمسية بدلاً من انعكاسها كما يفعل الجليد. إن الأزمنة الأدفأ قليلاً خلال العقدين الأخيرين من القرن العشرين كانت مشابهة لتلك التي في الفترة المبكرة من القرن العشرين (1920 ـ 1940). غير أن بعض نماذج الكمبيوتر تتوقع أنه لن يكون هناك جليد بحري في القطب الشمالي مع نهاية القرن الحادي والعشرين[1307]. يحدد مدى جليد القطب الشمالي الصيفي على نحو واسع بالتيارات الجوية والمحيطية المتغيرة مثل اهتزاز القطب الشمالي[1308]. وهناك قصة أخرى مختلفة عمّا يحصل في أماكن أخرى في القطب الشمالي. فقد بينت قراءات شهرية للسنين السبعين الأخيرة من 37 محطة قطبية شمال وتحت القطب الشمالي أن أعلى درجات للحرارة حدثت في ثلاثينيات القرن العشرين. وحتى في الخمسينيات، كان القطب الشمالي أدفأ من السنين الخمسين التالية[1309][1310]. وأظهرت بيانات من 125 محطة في القطب الشمالي للأركتيك ومن عوامات انتقالية عديدة حصول احترار قوي في الفترة من 1917 إلى 1937، ولا احترار منذ عام 1937، وربما ابتراد خفيف منذ 1937[1311]. كما بيّنت ثماني محطات طقس دنماركية أن شاطئ جنوب غرب غرينلاند يبرد خلال الخمسين عام الأخيرة[1312]. إضافةً إلى ذلك، بيّنت ثلاث محطات بحرية أن درجات حرارة سطح البحر في بحر اللابرادور (Labrador Sea) قد انخفضت خلال الخمسين عاماً الأخيرة.

(1306) <http://news.nationalgeographic.com/news/2008/06/080620-north-pole.html>.

(1307) O. M. Johannessen [et al.], «Arctic Climate Changes: Observed and Modeled Temperature and Sea-Ice Variability,» *Tellus*, A 56 (2004), pp. 328-341.

(1308) <http://www.jpl.nasa.gov/news.cfm?release=2007-131>.

(1309) R. Przybylak, «Temporal and Spatial Variation of Surface Air Temperature over the Period of Instrumental Observations in the Arctic,» *International Journal of Climatology,* vol. 20 (2000), pp. 587-614.

(1310) R. Przybylak, «Changes in Seasonal and High-Frequency Air Temperature Variability in the Arctic from 1951 to 1990,» *International Journal of Climatology*, vol. 22 (2002), pp. 1017-1033.

(1311) I. V. Polyakov [et al.], «Variability and Trends of Air Temperature and Pressure in the Maritime Arctic 1875-2000,» *Journal of Climate*, vol. 16 (2003), pp. 2067-2077.

(1312) E. Hanna and J. Capellan, «Recent Cooling in the Southern Coastal Greenland and Relation with the North Atlantic Oscillation,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003), 10.1029/2002GL015797.

كانت هذه التوقعات الكئيبة المنذرة عن جليد بحر القطب الشمالي خاطئة حقاً. فقد كانت مساحة جليد القطب الشمالي في 11 آب/أغسطس عام 2008 أكبر بـ 30 في المئة مما كانت عليه في 12 آب/أغسطس عام 2007[1313]. ونما الجليد في كل اتجاه تقريباً، مع تزايد كبير في شمال سيبيريا. كانت ممرات الشمال الغربي تؤكد تزايداً بارزاً في الجليد. كما إن بعض الجزر في الأرخبيل الكندي باتت محاطة بجليد أكثر مما كانت عليه في صيف عام 1980. وكان جليد البحر في القطب الشمالي عامي 2007 و2008 أقل بمليوني متر مربع من عامي 1979 ـ 1980. وتعزو ناسا هذا التناقص في الجليد إلى رياح تدفع جليد البحر في اتجاه تيارات المحيط الدافئة[1314]، وبانسياب المياه الدافئة من شمال المحيط الأطلسي بعمق في المحيط القطبي الشمالي[1315]. ويعود معظم احترار وابتراد القطب الشمالي البارز في غرينلاند خلال النصف الأخير من القرن العشرين[1316] إلى التغيرات الطبيعية، وربما لاهتزازات العقود المتعددة مثل اهتزاز القطب الشمالي، واهتزاز المحيط الهادي العقدي وإل نينو[1317]. يتكسر الجليد الرقيق بسهولة في العواصف، مما ينتج تراجعاً للجليد على الجانب الكندي. وإن التراجع في الجليد هذا دوري وليس دائمياً[1318]. ولقد تزايد جليد بحر القطب الجنوبي خلال 2008، في المساحة، تماماً كما حصل في السنوات الثلاثين الماضية[1319]. وإن قياسات درجات الحرارة في بعض أجزاء القطب الشمالي، كانت أعلى في مجموعات من المناطق المنعزلة بسبب أثر الحرارة المديني في الجزيرة[1320].

(1313) <http://www.theregister.co.uk/2008/08/15/goddard_arctic_ice_mystery>.

(1314) <http://www.emc.ncep.noaa.gov/research/cmb/sst_analysis>.

(1315) I. V. Polyakov [et al.], «One More Step toward a Warmer Arctic,» *Geophysical Research Letters,* vol. 32 (2005), doi: 10.1029/2005GL023740.

(1316) R. R. Dickson [et al.], «The Arctic Ocean Response to the North Atlantic Oscillation,» *Journal of Climate*, vol. 15 (2000), pp. 2671-2696.

(1317) I. V. Polyakov and M. A. Johnson, «Arctic Decadal and Interdecadal Variability,» *Geophysical Research Letters*, vol. 27 (2000), pp. 4097-4100.

(1318) I. V. Polyakov [et al.], «Long Term Ice Variability in Arctic Marginal Seas,» *Journal of Climate*, vol. 16 (2003), pp. 2078-2084.

(1319) <http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.365.south.jpg>.

(1320) K. M. Hinkel [et al.], «The Urban Heat Island in Winter at Barrow, Alaska,» *International Journal of Climatology*, vol. 23 (2003), pp. 1889-1905.

لا يعرف كيف تؤثر البراكين في قاع البحر على امتداد مرتفعات سلاسل غاكل (Gakkel Ridge) (Urban Heat Island Effect) في درجات حرارة بحر المحيط القطبي الشمالي. وهنا ينفتق قعر المحيط في أبطأ معدل له في جميع مرتفعات المحيط. وكان متوقعاً أن يكون هناك قليل من النشاط البركاني والجيوحراري، ولكن الطبيعة كان لها مفاجأة. فقد تم تحديد 15 مجالاً جيوحرارياً نشيطاً[1321]. ووجد أن هناك تفريغات عميقة المياه لمتطايرات حارة جداً، وعيون ماء ساخنة، وانصهارات ومنتجات انفجارات بركانية كبيرة[1322]. وتم اكتشاف براكين انفجارية بحرية في عمق المياه في عام 2008. ولا ندري كيف أثرت أحداث كهذه في القطب الشمالي، غير أن وجود انفجار لبركان بازلتي في عمق يزيد على 3 كيلومترات يتطلب صهارة بازلتية ليحتوي على 13٪ CO_2 المذاب ولإصدار تركيز كارثي من CO_2 من الحمم. إن مياه القطب الشمالي الباردة عالية الضغط كفيلة بإذابة جميع الـ CO_2 الصادر من الانفجار البركاني. ثم يتم ابتراد الحجم الكبير للحمم البازلتية بمياه القطب الشمالي الدوارة، التي تسخن نتيجة لذلك وهناك نشاط بركاني وانسيابي آخر لا يرى بعيداً عن مرتفعات غاكل (Gakkal) في قعر محيط القطب الشمالي[1323]. وبإمكان محيط كبير آخر دون القطب الشمالي لا يرى، أو لبركان تحت الجليد القطبي الجنوبي، أو لنشاط جيوحراري أن يؤثر في مناخ العالم بإضافة حرارة وCO_2 لمياه محيط قطبية عالية الضغط وباردة. وتتطلب التغيرات في مياه القطب الشمالي، والجليد والبراكين أن تبقى تحت المراقبة خلال مدى زمني أكبر.

كان يمكن لثقب في صفيحة جليد غرينلاند أن يغيّر العالم. وبالنظر إلى الأكسجين الثقيل (O^{18}) والأكسجين الخفيف (O^{16}) في الجليد خلال مدة

(1321) Press Release, US National Science Foundation, «*Contrary to their Expectations, Scientists on a Research Cruise to the Arctic Ocean have Found Evidence that the Gakkal Ridge, the World's Slowest Mid-Ocean Ridge, may be Volcanically Active. A Few Years ago Submarine Exploration of the Arctic Ocean under the Polar Ice cap Found some 15 Large Geothermal Vents along the Arctic Fracture Zone, and Evidence of the Recent Outflow of Lava. 'We Found more Hydrothermal Activity on this Cruise than in 20 Years of Exploration on the Mid-Atlantic Ridge', Said Charles Langmuir, Scientist from Lamont-Doherty Earth Observatory at Columbia University* (28 November 2001).

(1322) R. A. Sohn [et al.], «Explosive Volcanism on the Ultraslow-Spreading Gakkal Ridge, Arctic Ocean,» *Nature*, vol. 453 (2008), pp. 1236-1238.

(1323) J. Snow [et al.], «Magnatism and Hydrothermal Activity in Lena Trough, Arctic Ocean,» *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 82 (2001), p. 193.

250,000 عام، يمكن قياس درجة الحرارة وقت تساقط الثلج[1324]. لقد بيّن هذا البحث أنه لم تسجل فقط الدورات المناخية التي يحركها المدار لـ90,000 عام من البرد و10,000 عام من الدفء، بل كانت هناك أيضاً دورات من 1500 عام (5000 ± عام). وقد اكتسبت هذه الدورات لـ 1500 عام مصداقية من خلال دراسات تثقيب الجليد عام 1987 في القطب الجنوبي، ومن خلال تقدم وتراجع في مجلدات القطب الشمالي، وأوروبا، والقارة الأميركية ونيوزيلندا والقطب الجنوبي. لقد سجلت هذه التغيرات المناخية لـ 1500 عام من لب الرواسب في جميع المحيطات والبحار الرئيسية. واستجابت النباتات لدورات المناخ لـ 1500 عام، كما بيّنت الدورات سجل الطبقات الغبارية لـ 14000 عام من شمال أميركا[1325]. وقد بيّن علماء الآثار أن البشر تحركوا فوق الجبال خلال الاحترار وإلى أسفل الجبال خلال الابتراد.

يبيّن لب الجليد من مركز غرينلاند أن المناخ كان في غرينلاند خلال الفترة ما بين الجليدية الأخيرة يتسم بسلسلة من فترات قارصة البرودة، بدأت بسرعة شديدة وامتدت من عقود إلى قرون. وكانت الفترة ما بين الجليدية الأخيرة أدفأ قليلاً من الفترة ما بين الجليدية الحالية[1326]. ويمكن لتغير المناخ الذي تسببه ظروف طبيعية أن يكون سريعاً جداً. وإذا كان احترار أواخر القرن العشرين سببه ضخ الإنسان للـ CO_2 في الغلاف الجوي، فلماذا إذاً كان الجو أدفأ في أزمنة لم تكن فيها أي صناعة؟

تتوقع المحاكاة الكمبيوترية لاحترار القطب الشمالي وذوبان المجلدات القطبية تغيرات بحجم مهم. وتدل النظرة إلى الوراء باستعمال نماذج الكمبيوتر هذه إلى الفترة ما بين الجليدية (قبل 130000 ـ 116000 عام) على أن صفيحة جليد غرينلاند ومجالات الجليد حول القطب الشمالي قد ساهمت في ارتفاع مستوى

(1324) W. Dansgaard [et al.], «North Atlantic Climate Oscillations Revealed by Deep Greenland Ice Cores,» in: James E. Hansen and Taro Takahashi, eds., *Climate Processes and Sensitivity*, American Geophysical Union Monograph; 29 (Washington, DC: American Geophysical Union, 1984), pp. 288-298.

(1325) A. E. Viau [et al.], «Widespread Evidence of 1500 Yr Climatic Variability in North America during the Past 14,000 Yr,» *Geology*, vol. 30 (2002), pp. 455-458.

(1326) GRIP Members, «Climate Instability during the Last Interglacial Period Recorded in the GRIP Ice Core,» *Nature*, vol. 364 (1993), pp. 203-207.

سطح البحر بـ 2.2 إلى 3.4 متر[1327]. ولا بد أن محاكاة الكمبيوتر هذه كانت خاطئة، كما بيّنت البيانات الملاحظة ارتفاعاً في مستوى سطح البحر ضعف هذا الرقم على الأقل. وكان متوسط درجة الحرارة خلال السنين الـ 14000 من الفترة ما بين الجليدية أعلى بخمس درجات من الآن على الأقل. وتراجع هامش صفيحة جليد غرينلاند بسرعة خلال بضع آلاف عام الأولى للهولوسين قبل حوالى 10000 إلى 8000 عام. وكان هناك حدث ابتراد قصير الأمد قبل 8400 إلى 8000 عام متعلق بانخفاض 5 إلى 7 درجات في متوسط درجة حرارة الهواء السنوية فوق مركز صفيحة الجليد (حدث GH-8.2). وإن أحداثاً قصيرة المدة دافئة وباردة مثل دراياس الأصغر وحدث GH - 8.2 مفهومةً فهماً ضعيفاً[1328].

يبيّن لب الجليد من غرينلاند أن درجة الحرارة كانت أدفأ عام 1000، فيما بيّن اللب ذاته فترتين باردتين جداً عام 1550 و1850 خلال العصر الجليدي الصغير. وكانت درجة الحرارة أبرد بـ0.7 إلى 0.9 درجة مئوية من الآن، ثم ازدادت درجة الحرارة بعد العصر الجليدي الصغير حتى 1930، ثم تناقصت حتى عام 1995 (في العام التي انتهت فيها الدراسة)[1329]. إن مناخ غرينلاند القاري اكتسب مصداقية من خلال دراسة لب ترسبات استحصلت من زقاق بحري في شرق غرينلاند بينّت ابتراداً بعد 1300، وظروف مناخية متغيرة وشديدة من 1630 إلى 1900[1330]. وقد لا تبدو تغيرات درجة الحرارة هذه عظيمة، ولكن تغيرات في درجة الحرارة تصل إلى 6 درجات مئوية خلال الـ 8000 عام الماضية سجلت على ساحل ألاسكا باستعمال كائنات وحيدة الخلية عائمة[1331]. لقد وفرت هذه المعطيات مؤشراً جيداً عن درجة حرارة

(1327) B. L. Otto-Bliesner [et al.], «Simulating Arctic Climate Warmth and Icefield Retreat in the Last Interglaciation,» *Science,* vol. 311 (2006), pp. 1751-1753.

(1328) A. J. Long, D. H. Roberts and S. Dawson, «Early Holocene History of the West Greenland Ice Sheet and the GH-8.2 Event,» *Journal of Quaternary Science Reviews* (2006), doi: 10.1016/j.quascirev.20005.07.002.

(1329) D. Dahl-Jensen [et al.], «Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 268-271.

(1330) A. E. Jennings and N. J. Weiner, «Environmental Change in Eastern Greenland during the Last 1,300 Years: Evidence from Foraminifera and Lithofacies in Nansen Fjord, 68N,» *The Holocene*, vol. 6 (1996), pp. 171-191.

(1331) D. Darby [et al.], «New Record Shows Pronounced Changes in Arctic Ocean Circulation and Climate,» *EOS*, vol. 82 (2001), pp. 601-607.

سطح البحر وغطاء جليد البحر، وكلاهما تغير في العصر الجليدي الصغير. كما بيّنت دراسات النباتات أن يابسة ألاسكا كان لها تغيرات في درجة الحرارة أكثر بكثير من تغيرات غرينلاند. وكانت درجات حرارة الصيف ما بين الجليدية أعلى بدرجة إلى درجتين من الآن، ولربما كانت درجة حرارة الصيف أدفأ بـ 5 درجات في بعض المواقع[1332]. لقد بيّن تفكك الأتربة في شمال كيبيك، من خلال دراسة تجمد المياه وذوبانها أن برداً قارصاً كان قد حلّ بين عام 1500 وعام 1900 خلال العصر الجليدي الصغير[1333].

قال تقرير أثر مناخ القطب الشمالي[1334]: «يتم توقع الاحترار لتعزيز تخزين الرطوبة الجوية الذي ينتج منه ترسب صاف متزايد».

ويدعم آخرون هذه الفكرة[1335][1336][1337]. ولقد حسبت اتجاهات (Trends) في تساقط الأمطار والثلوج فوق أحواض صرف المياه الأوروبية الكبرى للفترة بين 1936 ـ 1999. وتبيّن أن الترسب الكلي السنوي خلال هذه الفترة[1338]، قد تناقص توافقاً مع دراسة أخرى[1339]. إن ما يجعل هذه الدراسة مهمة هو أن بعض الباحثين قالوا سابقاً إن الترسب الكلي قد تزايد، ولكن،

(1332) D. R. Muhs, T. A. Ager and J. E. Beget, «Vegetation and Palaeoclimate of the Last Interglacial Period, Central Alaska,» *Quaternary Science Review*, vol. 20 (2001), pp. 41-61.

(1333) J. N. Kasper and M. Allard, «Late Holocene Climatic Changes as Detected by Growth and Decay of Ice Wedges on the Southern Shore of Hudson Straight, Northern Quebec, Canada,» *The Holocene*, vol. 11 (2001), pp. 563-577.

(1334) Arctic Climate Impact Assessment, *Arctic Climate Impact Assessment-Special Report* (New York: Cambridge University Press, 2005).

(1335) B. J. Peterson [et al.], «Increasing River Discharge to the Arctic Ocean,» *Science*, vol. 298 (2002), pp. 2171-2173.

(1336) A. Manabe and R. J. Stouffer, «Multiple-Century Response to a Coupled Ocean-Atmosphere Model to an Increase of Atmospheric Carbon Dioxide,» *Journal of Climate,* vol. 7 (1994), pp. 5-23.

(1337) S. Rahmstorf and A. Ganopolski, «Long-Term Global Warming Scenarios Computed with Efficient Coupled Climate Model,» *Climatic Change*, vol. 43 (1999), pp. 353-367.

(1338) M. A. Rawlings [et al.], «Evaluation of Trends in Derived Snowfall and Rainfall across Eurasia and Linkages with Discharges to the Arctic Ocean,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), doi: 10.1029/2005GL025231.

(1339) S. Berezovskaya, D. Yang and D. L. Kane, «Compatibility Analysis of Precipitation and Runoff Trends over the Large Siberian Watersheds,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), doi: 10.1029/2004GL021277.

وبناء على بيانات جديدة، كانت النتائج معكوسة. وهذا هو العلم في التطبيق الذي يقدم الشك على اليقين. وإن المضامين عويصة. فإما (أ) أن المناقشات النظرية وتوقعات النماذج التي تقترح «تزايدات في الترسبات البعيدة عن خط الاستواء بالنسبة إلى تزايدات في متوسط درجة الحرارة نصف الكروية أو (ب) أن درجات الحرارة في أواخر القرن العشرين لم تكن أدفأ بكثير من تلك التي كانت في منتصف الثلاثينيات، أو (ج) تطبيق كلا الخيارين.

كانت درجات الحرارة في غرينلاند أدفأ بكثير من الآن ولم يختف غطاء الجليد[1340] في احترار العصور الوسطى (900 ـ 1300) واحترار الهولوسين (قبل 8500 عام حتى الآن). ولا تبيّن بيانات العروق المرجانية أي ارتفاع أساسي لمستوى سطح البحر في هذه الأزمنة. إضافةً إلى ذلك، بقي جليد غرينلاند مجمداً، وحافظ على الحمض النووي للعنكبوت والأشجار[1341]، خلال الفترة ما بين الجليدية الأخيرة (قبل 130000 ـ 116000 عام) عندما كان متوسط درجة الحرارة العالمية أدفأ بست درجات لـ 8000 عام على الأقل. وهذا يدل على أن صفيحة جليد غرينلاند هي أكثر استقراراً مما نعتقد، وأن حقيقة أن هناك لبّاً للجليد يبين دورات الـ 100000 عام من الابتراد والدفء للـ 800000 عام الأخيرة تبين أن جليد غرينلاند لم يذب، في فترات دافئة ما بين جليدية، في كل ذلك الزمن.

واليوم؟ يبيّن قياس مستمر لصفيحة جليد غرينلاند مأخوذاً من الأقمار الاصطناعية أن الداخل الفسيح في غرينلاند المرتفع بـ 1500 متر فوق سطح البحر يتزايد في الارتفاع بـ 0.2 ± 6.4 سنتيمتر (cm) في العام. وتحت أقل من 1500 متر، يتناقص الارتفاع بـ 0.9 ± 2.0 سنتيمتر في العام توافقاً مع الرقاقة المسجلة لأطراف صفائح الجليد. وترتبط تغيرات الشتاء بتغيرات تيارات شمال المحيط الأطلسي[1342]. وقد تزايد ذوبان حواف صفيحة جليد غرينلاند خلال الفترة 1992 ـ 2006. وكان معدل الذوبان أعلى في العقد الأول من القرن

(1340) D. Dahl-Jensen [et al.], «Past Temperatures Directly from the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 268-271.

(1341) E. Willerslever [et al.], «Ancient Biomolecules from Deep Ice Cores Reveal a Forested Southern Greenland,» *Science*, vol. 317 (2007), pp. 111-114.

(1342) O. M. Johannessen [et al.], «Recent Ice-Sheet Growth in the Interior of Greenland,» *Science*, vol. 310 (2004), pp. 1013-1016.

العشرين، وفي الثلاثينيات والأربعينيات والخمسينيات والستينيات. وهذا يدل على أن الذوبان الحالي هو جزء من الاختلاف المناخي الطبيعي فقط[1343]. وحدث الذوبان الأكبر الحديث في عشرينيات القرن العشرين وثلاثيناته، تزامناً مع احترار تلك الفترة، وأن التغيرات الحالية لصفيحة جليد غرينلاند أصغر من التغيرات الملاحظة خلال الفترة بين 1920 ـ 1940 الدافئة[1344].

وعليه، تصعب رؤية كيف يمكن لانبعاثات CO_2 التي يصدرها النشاط البشري أن تذيب جليد القطب الشمالي، إلا إذا تجاهلنا التاريخ وقسماً كبيراً من العلوم.

القطب الجنوبي (الأنتركتيك)

إن سبب كون القطب الجنوبي مغطى بالجليد مشكلة جيولوجية رئيسية. ويعادلها في الإشكالية نمو صفائح جليد القطب الجنوبي[1345]. وقبل أن يكون هناك جليد في القطب الجنوبي، كانت القارة دافئة، ورطبة ومليئة بالغابات. وبدأ التجلد الأساسي قبل 34 مليون عام ضمن حد أيوسين ـ أوليجوسين. وعلى الرغم من أن نظائر الأكسجين في الكائنات العائمة تبيّن أن درجة الحرارة الكونية كانت تتناقص بانتظام في الأيوسين لأكثر من 10 ملايين عام، ويفصل حدود الأيوسين ـ أوليجوسين قبل 33.8 مليون عام أحد أدفأ الفترات خلال الـ 100 مليون عام الماضية من أحد أبرد الفترات[1346][1347] ومن الصعب أن نفهم هذا الحد بسبب نقص الدلائل المستقاة من عمق البحر عن هذا الابتراد. غير أنه مع إدخال كيمياء الأصداف للمنخربات وحيدة الخلايا المترسبة في القاع

(1343) P. Chylek [et al.], «Remote Sensing of Greenland Ice Sheet Using Multispectral Near-Infra Red and Visible Radiances,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), DS24S20, doi: 10.1029/2007/JD008742.

(1344) P. Chylek, M. K. Dubey and G. Lesins, «Greenland Warming of 1920-1930 and 1995-2000,» *Geophysical Research Letters*, vol. 13, L11707 (2006), doi: 10.1029/2006GL26510.

(1345) O. Ingólfsson, «Quaternary Glacial and Climate History of Antarctica,» in: J. Ehlers and P. L. Gibbard, *Quaternary Glaciations-Extent and Chronology, Part III* (San Diego: Elsevier, 2004), pp. 3-43.

(1346) J. Zachos [et al.], «Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present,» *Science,* vol. 292 (2001), pp. 686-693.

(1347) P. N. Pearson [et al.], «Warm Tropical Sea Surface Temperatures in the Late Cretaceous and Eocene Epochs,» *Nature*, vol. 413 (2001), pp. 481-487.

مع كيمياء الأصداف العائمة، يمكن رؤية التزايد السريع في حجم الجليد والتناقص في درجة حرارة البحر بـ 2.5 درجة مئوية[1348]. وتدل الدلائل الكيميائية أيضاً على أن مستوى سطح البحر يجب أن يكون قد انخفض من 120 إلى 135 متراً، غير أن الدلائل الجيولوجية تبين أن مستوى سطح البحر قد انخفض من 55 إلى 70 متراً[1349]. وتشمل هذه الدلائل ارتفاع قعر البحر حيث أزيل وزن الماء. وإذا حسب انخفاض مستوى سطح البحر بناءً على إزالة الماء إلى صفيحة جليد القطب الجنوبي، فيجب لمستوى سطح البحر أن يكون قد انخفض بين 82 إلى 105 أمتار. وهذا رقم غير أكيد، لأن حمل الجليد في القطب الجنوبي ينتج منه غرق القطب الجنوبي وارتفاع اليابسة في أماكن أخرى. ثم اتسع حجم الجليد وانخفض مستوى سطح البحر. لقد كانت صفيحة جليد القطب الجنوبي قبل 33.5 مليون عام أكبر من صفيحة جليد الأنتاركيتيكا الآن بنسبة 25 في المئة. وهذا البحث في ابتراد المياه السفلية يتوافق مع بحث آخر يبين أن درجة حرارة سطح البحر الاستوائية انخفضت نحو 2.5 درجة مئوية في الوقت ذاته[1350].

كان هناك اتساع لجليد القطب الجنوبي خلال المايوسين الأخير (قبل 5 إلى 10 ملايين عام)، وتكثيف للدوران الكوني الذي تحركه الرياح، فأسس الدوران الجوي محيطاً طبقياً بارداً. وفي فترة البلايستوسين (قبل 3-5 ملايين عام)، كانت هناك ظروف دافئة. ومقارنةً باليوم، كانت درجة حرارة المحيط أعلى بثلاث درجات مئوية، وكان مستوى سطح البحر أعلى بـ 20 متراً والـ CO_2 الجوي أعلى بـ 30 في المئة[1351]. وانتهت ظروف إل نينو البلايوسيني قبل 2.67 مليون عام، وظهرت صفيحة جليد النصف الشمالي للكرة الأرضية.

(1348) M. E. Katz [et al.], «Stepwise Transition from the Eocene Greenhouse to the Oligocene Icehouse,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 329-334.

(1349) T. R. Nash [et al.], «Constraining the Amplitude of Late Oligocene Bathymetric Changes in Western Ross Sea during Orbitally-Induced Oscillations in the East Antarctic Ice Sheet: (2) Implications for Global Sea-Level Changes,» *Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 260 (2008), pp. 66-76.

(1350) C. H. Lear [et al.], «Cooling and Ice Growth across the Eocene-Oligocene Transition,» *Geology*, vol. 36 (2008), pp. 251-254.

(1351) S. J. Gallagher [et al.], «The Pliocene Climate and Environmental Evolution of Southeastern Australia: Evidence from the Marine and Terrestrial Realm,» *Palaeogoegraphy, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 193 (2003), pp. 349-382.

وأغلقت البراكين في وسط أميركا طريق البحر بين المحيط الهادي والكاريبي. وتزامناً مع ذلك، قُذِفت الأرض بفيض إضافي من الإشعاع الكوني. خلال هذه التغيرات في الـ 6 ملايين عام الماضية، ضعف نطاق التقارب تحت الاستوائي فوق أستراليا وقوي وهاجر شمالاً وجنوباً من وضعه الحالي في طرف الجنوب الأسترالي.

لقد تغيرت تيارات المحيط. قبل 800000 عام، وغيّر ارتفاع مجموعة الجزر الإندونيسية وبداية الدورة المناخية لـ 100000 عام تيارات المحيط. وتطورت الحيود البحرية الاستوائية جنوباً. وإن تيارات المحيط المعاصرة التي تنقل الحرارة حول العالم حديثة نسبياً وسريعة الزوال في السجل الجيولوجي. إن المكان الأفضل للنظر إلى ما يمكن أن يكون عليه كوكب الأرض في بيت زجاجي هو قبل التجلد الأخير فقط.

ولعل التفسير القديم المقبول والخاص باعتبار غطاء الجليد هو مسبب عن تيار القطب الجنوبي، الذي بدأ بعد انجراف اليابسة القارية المجاورة القطب الجنوبي[1352]. وكان من المفترض أن يمنع التيار حول القطبي المياه تحت القطبية الدافئة من الوصول إلى القطب الجنوبي. وقد غير تحول شكل القارات وقاع البحر، تيارات المحيط. وغيّرت هذه التغيرات في تيارات المحيط مناخ القطب الجنوبي.

كان لشكل القارات قبل فتح ممر دريك (Drake Passage) أثر عميق في المناخ العالمي. ولا يزال كذلك. ولم يعمل الطريق البحري الكامل حتى مهّد الارتفاع التاسماني الجنوبي الطريق لساحل أوتس لاند (Oates Land) للقطب الجنوبي قبل حوالى 32 مليون عام[1353]. وربما فتح ممر دريك في أوائل الميوسين قبل حوالى 25 مليون عام، فمن الصعب أن يكون التيار موجوداً أبكر بـ 10 ملايين عام[1354]. وبعد أن فتح ممر دريك، انخفضت درجة حرارة القطب الجنوبي بحوالى 3 درجات مئوية وارتفعت درجة حرارة القطب الشمالي

(1352) مركبات قارة غوندوانا الكبيرة القديمة.

(1353) L. A. Lawver and L. M. Gahagan, «Evolution of Cenozoic Seaways in the Circum-Antarctic Region,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* vol. 198 (2003), pp. 11-37.

(1354) H. D. Scher and E. E. Martin, «Timing and Climatic Consequences of the Opening of Drake Passage,» *Science*, vol. 312 (2006), pp. 428-430.

بحوالى 3 درجات[1355]. وقد غيّر فتح ممر دريك وأوتس لاند توزيع تيارات المحيط[1356] معطياً تزايداً مقداره أربعة أضعاف في معدل انسياب مياه القطب الجنوبي السفلية[1357].

قبل حوالى 5 ملايين عام، كانت الأرض أدفأ من الآن. ولم يكن هناك جليد قطبي بحري ولا حزام ناقل لدوران مياه المحيط. وعندما اتسع ممر دريك، تطور التيار الذي حول القطب الجنوبي. ولم يصبح القطب الجنوبي معزولاً عن مياه أدفأ فحسب، بل سبّب ضغط الرياح أيضاً إسقاطاً عمودياً مع مياه أبرد تحت السطح بانسياب نحو السطح. ثم بردت القارة المعزولة حرارياً، وتراكم مزيد من جليد اليابسة وتطور جليد البحر في الشتاء. وما إن تطور جليد البحر، حتى أطلقت الأملاح تحت الجليد وأصبحت المياه تحت الجليد أكثر ملوحة وكثافة، فغرقت. وكان هذا تطور المياه العميقة الباردة الابتراد العام للمحيطات. وقد غيّر تشكيل المياه العميقة ونمو الجليد الطاقة الكامنة للأرض، وانبعاثات الأشعة تحت الحمراء في القطب الجنوبي تجاوزت قدرته على الامتصاص الشمسي.

بعد نحو ثلاثة ملايين عام من الابتراد، امتلأت المحيطات تدريجياً بالمياه الباردة العميقة. وتشكل جليد البحر الشتوي في القطب الشمالي واستمر الابتراد لأن الأشعة تحت الحمراء من القطب الشمالي قد تجاوزت الآن الامتصاص الشمسي. وتزايد تبخر الماء من سطح البحر بـ 7.7 في المئة مع كل ارتفاع لدرجة واحدة في درجة حرارة سطح البحر. ويتطلب التبخر حرارةً كامنة، ويتحول الهواء من المناطق الاستوائية مع طاقة كامنة إلى القطبين. ويخفض (Upwelling) في المناطق الاستوائية درجة حرارة سطح البحر، ويخفض هذا كمية الطاقة التي يمكن تحويلها إلى القطبين، ما ينتج منه الابتراد القطبي. وهذا التبخر والتحويل للطاقة هو الذي يوازن المناخ.

(1355) J. R. Toggweiler and H. Bjornsson, «Drake Passage and Palaeoclimate,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 15 (2000), pp. 319-328.

(1356) J. R. Toggweiler and B. Saumels, «Effect of Drake Passage on the Global Thermohaline Circulation,» *Deep Sea Research Part 1: Oceanographic Research Papers*, vol. 42 (1995), pp. 477-500.

(1357) U. Mikolajewicz [et al.], «Effect of Drake and Panamanian Gateways on the Circulation of an Ocean Model,» *Paleoceanography*, vol. 8 (1993), pp. 409-426.

يتوافق كل ذلك مع بيانات أخرى تدل على أن ممر دريك كان ضحلاً بدايةً، وبدّل توزيع الحياة تبديلاً شديداً في المحيط الجنوبي[1358]. ولا يسمح الممر حتى الآن، بحمل مياه المحيط العميقة إلى القطب الجنوبي[1359]. وهناك حاجة إلى تفسيرات أخرى لبداية صفيحة جليد القطب الجنوبي. وقد تكون إحداها انخفاضاً مفاجئاً في غازات الدفيئة المأخودة من الغلاف الجوي في الهيمالايا المرتفعة. وبينما تتفتت الصخور إلى تربة، يخرج CO_2 من الغلاف الجوي ويتغلغل في التربة. وتتآكل هذه التربة وتترسب، ويتم عزل CO_2 بهذه العملية. غير أن كرونولوجيا (جدول زمني) نشأة الهيمالايا تبين أن هذه الآلية قد تكون غير صالحة. وعلى الرغم من أن التصادم بدأ قبل 50 مليون عام، غير أن رفع الهيمالايا لم يبدأ إلا قبل 23 مليون عام[1360]. وبحلول ذلك الوقت، كان القطب الجنوبي مغطى بالجليد. ويتزامن هذا التاريخ (23 مليون عام) مع سجلات التجوية الموسمية من بحر جنوب الصين[1361][1362]، وخليج البنغال[1363] وبحر العرب[1364].

دعونا نفكر بمدى البرد الموجود فعلاً في القطب الجنوبي. تتراوح درجات الحرارة الشتوية في سهلها المرتفع والبارد الداخلي من ـ 40 إلى ـ 65 درجة

(1358) A. G. Beu, M. Griffin and P. A. Maxwell, «Opening of the Drake Passage Gateway and Late Miocene Ccooling Reflected in Southern Ocean Molluscan Dispersal: Evidence from New Zealand and Argentina,» *Tectonophysics,* vol. 281 (1997), pp. 83-97.

(1359) D. Seidov and M. Maslin, «Atlantic Ocean Heat Piracy and the Bipolar Climate See-Saw during Heinrich and Dansgaard-Oeschger Events,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 16 (2001), pp. 321-328.

(1360) P. D. Clift [et al.], «Correlation of Himalayan Exhumation Rates and Asian Monsoon Intensity,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 875-883.

(1361) X. Li [et al.], «Geochemical and Nd Isotope Variations in Sediments of the South China Sea: A Response to Cenozoic Tectonism in SE Asia,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 211 (2003), pp. 207-220.

(1362) X. Sun and P. Wang, «How Old is the Asian Monsoonal System: Palaeobotanical Records from China,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology and Palaeoecology,* vol. 222 (2005), pp. 181-222.

(1363) P. D. Clift, «Controls on the Erosion of Cenozoic Asia and the Flux of Clastic Sediment to the Ocean,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 241 (2006), pp. 571-580.

(1364) L. A. Derry and C. N. France-Lanord, «Neogene Himalayan Weathering History and River $^{87}Sr/^{86}Sr$: Impact in the Marine Sr Record,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 142 (1996), pp. 59-74.

مئوية. والرياح شديدة. ويدفأ الجو في الصيف مع انخفاض لدرجة الحرارة يصل إلى ـ 45 درجة مئوية تحت الصفر فقط، ويرتفع أحياناً إلى 5 درجات مئوية تحت الصفر. وحتى في ذلك الوقت، كان الجليد يعكس جميع أشعة الشمس رجوعاً إلى الفضاء. وإذا رفعنا درجة حرارة الهواء خمس درجات مئوية فالجليد لن يذوب.

هناك صعوبات كبيرة في تحديد اتساع صفيحة جليد القطب الجنوبي أو تقلصها. وهناك ادعاء أن صفيحة جليد شرق القطب الجنوبي قد تظهر علامات لاحترار الهولوسين، وقد تكون صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي أكثر حساسية للاحترار[1365]. ولا يعترف هذا الادعاء أن صفائح جليد شرق القطب الجنوبي وغربها تحتل أحواضاً، وأن الجليد ينساب صعوداً من الأحواض، وأن انسياباً كهذا لا يمكن أن يكون بسبب تغير خفيف في درجة الحرارة العالمية.

غير أن كمية المياه وضغطها لا يمكنهما أن يشرحا الحركة على طول قاعدة الجليد[1366]. ومع مجلدات قارية، هناك دخول يومي وموسمي متغير للمياه على طول قاعدة المجلد. وأحياناً تصدر المياه بسرعة من تحت المجلد وتحدث فيضانات. وفي مجلد كنيكوت (Kennicott) في ألاسكا[1367]، لا تؤدي معدلات الذوبان العالية إلى حركة سريعة للجليد، وفي صفيحة غرينلاند، قد تفسر كميات كبيرة من الماء خلال الجليد البارد التسارعات الحديثة في حركة صفائح جليد غرينلاند[1368]. وتخدم هذه الأمثلة لتبيان أن انسياب المجلدات ليس من الانزلاق على قاعدة صفيحة الجليد، وأنه لابد من وجود آلية عاملة أخرى.

من ناحية أخرى، إن احترار العالم وابتراده خلال الـ 150 عاماً الماضية

(1365) F. Remy and M. Frezzotti, «Antarctic Ice Sheet Mass Balance,» *Comptes Rendus Geosciences,* vol. 338 (2006), pp. 1084-1097.

(1366) A. G. Fountain and J. S. Walder, «Water Flow through Temperature Glaciers,» *Reviews in Geophysics*, vol. 36 (1998), pp. 299-328.

(1367) T. C. Bartholomaus, R. S. Anderson and S. P. Anderson, «Response of Glacier Basal Motion to Transient Water Storage,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 33-37.

(1368) C. J. van der Veen, «Fracture Propagation as a Means of Rapidly Transferring Meltwater to the Base of Glaciers,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007): L01501.

أنتجا تغيراً في القطب الجنوبي. وكانت صفائح جليد شرق القطب الجنوبي الكبيرة، التي تحوي 90 في المئة تقريباً من جليد العالم، تسمك وتتكثف. ولقد قاست الأقمار الاصطناعية الأوروبية سماكة صفيحة الجليد 347 مليون مرة بين 1992 و2003 ووجدت أنها كانت تكسب حوالى 45 مليار طن من الماء في العام، لأن كوكب الأرض قد سخن بشكل كاف ليجعل الثلج يتساقط في أبرد مكان على الأرض[1369]. كما كانت صفيحة جليد غرينلاند تتكثف في وسطها. وتنمو الصفيحتان في الوسط وتذوب في الأطراف. وقد يترك لنا هذا احتراراً كونياً في ارتفاع مستوى سطح البحر بحوالى 1.8 مليمتر (mm) في العام أو 10.2 سنتيمتر في القرن. وقد بالغ آل غور (Al Gore) في توصيف أثر الاحترار الكوني في القطب الجنوبي خمسين مرة.

تمر الصفائح الجليدية بتغيرات واضحة في السرعة والشكل[1370][1371]. فعلى سبيل المثال، لقد تباطأ تيار جليد ويلانز[1372] (Whillans Ice Stream)، وتوقف تيار جليد كامب (Kamb Ice Stream) قبل نحو 150عاماً[1373]. وعلى الرغم من أنه تم اقتراح تزود وتوزع ما تحت الجليد كسبب للتزايد والتناقص العرضي في معدل انسياب المجلدات، إلا أن عملية الوقف الجنوبية لا تزال قابلة للنقاش[1374][1375]. توجد بحيرات تحت جليدية في عدة أماكن. وقد يسرّع انسياب الحرارة تحت الجليد والبحيرات تحت الجليد من انسياب صفائح الجليد ولكنها ليست السبب في انسياب الجليد.

(1369) C. Davis [et al.], «Snowfall-Driven Growth in East Antarctic Ice Sheet Mitigates Recent Sea-Level Rise,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 1898-1901.

(1370) H. Conway [et al.], «Switch of Flow Direction in an Antarctic Ice Stream,» *Nature*, vol. 419 (2002), pp. 465-467.

(1371) F. Ng, and H. Conway, «Fast-Flow Signature in the Stagnated Kamb Ice Stream, West Antarctica,» *Geology*, vol. 32 (2004), pp. 481-484.

(1372) I. Joughine [et al.], «Changes in West Antarctic Ice Stream Velocities. Observation and Analysis,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 107 (2002), doi: 10.1029/2001JB001029.

(1373) R. Retzlaff and C. R. Bentley, «Timing of Stagnation of Ice Stream C, West Antarctica from Short-Pulse Radar Studies of Buried Surface Crevasses,» *Journal of Glaciology*, vol. 47 (1993), pp. 533-561.

(1374) S. Anandakrishnan and R. B. Alley, «Stagnation of Ice Stream C, West Antarctica by Water Piracy,» *Geophysical Research Letters*, vol. 234 (1997), pp. 265-268.

(1375) S. F. Price [et al.], «Post-Stagnation Behavior in the Upstream Regions of Ice Stream C, West Antarctica,» *Journal of Glaciology*, vol. 47 (2001), pp. 283-294.

هناك شبكة نشيطة من البحيرات المرتبطة ببعضها البعض تحت جدولين جليديين (ويلانز ومرسر) يستنزفان مجال جليد القطب الجنوبي[1376]. وترتفع هذه البحيرات وتنخفض منتجةً ارتفاعاً وانخفاضاً لجليد السطح بـ 9 إلى 14 مكاناً من مساحة تعادل 120 ـ 500 كيلومتر. وإننا لا نعرف الضغط المائي الاستقراري (Hydrostatic) على البحيرات الذي يحدثه الجليد الفوقي. ومن الممكن أن تكون المياه في هذه البحيرات قد انبجست إلى الخارج منذ زمن، إذا لم تكن البحيرات مسدودة تماماً بالجليد. وقبل أن نقوم بتوقعات عن مستقبل صفائح الجليد ومستوى سطح البحر، نحتاج إلى معرفة المزيد عمّا هو تحت الجليد، ولماذا تختلف السرعات الجليدية هذا الاختلاف الكبير.

إن القطب الجنوبي قارة لا تخذل. وهي مليئة دائماً بالمفاجآت. وتبيّن معلومات حديثة من ناسا (NASA) أن الأمد الكلي للجليد في القطب الجنوبي ينمو، على الرغم من الاحترار المحلي في شبه جزيرة القطب الجنوبي الذي سبّب فقداناً للجليد[1377]. وإن القطب الجنوبي صفيحة جليدية تقبع فوق حد سطح نشيط، وهي ترتفع. وتبيّن بيانات ناسا أيضاً أن هناك بقعة ساخنة متمركزة مباشرةً فوق صفيحة جليد ولكنز (Wilkins Ice Sheet)[1378].

انفجر بركان عام 325 قبل الميلاد في غرب صفيحة جليد القطب الجنوبي. ولا يزال نشيطاً مع دليل (Index) انفجار عالٍ. والبراكين تسخن كميات كبيرة من الصخور. وإن الانفجارات الساخنة (Geysers) والمياه الحارة المندفعة في الجو شائعة جداً، ويصدر عنها غاز حار جداً. تولّد الحرارة البركانية ماءً ذائباً يزلق قاعدة صفيحة الجليد، وقد يزيد انسياب الجليد نحو البحر. فعلى سبيل المثال، مجلد جزيرة باين (Pine Island) في غرب صفيحة جليد القطب الجنوبي يبدي تغيراً سريعاً[1379].

وجدت منذ عهد قريب براكين منقرضة وحيوية تحت جليدية، تحت

(1376) H. A. Fricker [et al.], «An Active Sub-Glacial Water System in West Antarctica Mapped from Space,» *Science*, vol. 315 (2007), pp. 1544-1548.

(1377) < http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id = 17257 > .

(1378) < http://data.giss.nasa.gov/cgi-bin/gistemp/do_nmap.py?year_last = 2007&month_last = 09&sat = 4&sst = 1&type = trends&mean_gen = 1212&year1 = 1951&year2 = 2004&base1 = 1 = 1951&base2 = 2006&radius = 1200&pol = pol > .

(1379) < http://www.sciencedaily.com/releases/2008/01/080120160720.htm > .

الامتدادات الواسعة لصفيحة جليد غرب القطب الجنوبي، في ماري برد لاند (Marie Byrd Land)، شمال فكتوريا لاند ومرتفع إرلي. هذا وتشتق أجزاء كبيرة من صخور جليدية من انفجارات مثل مرتفع إرلي قبل 16 مليون عام، أو من انفجارات حديثة من قبل 240 ± 207 قبل الميلاد[1380].

وتعتبر انفجارات كهذه مصدراً طويل الأمد للحرارة لقاعدة صفائح الجليد، فتتدفق المياه المنصهرة نحو المحيط ضمن أنظمة معقدة هيدرولوجية مقيدة بالجليد، وقد تتشكل جداول جليد سريعة الانسياب. وإن ميزات كهذه معروفة من إيرلندا حيث تنساب المجلدات حول مركز بركاني حيوي منتشر. ويتغير إضافةً إلى ذلك، الانسياب الحراري. فعلى سبيل المثال، في غرمسفوتن كالديرا (Grimsvotn Caldera)، ازداد انسياب الحرارة من 1922 إلى 1991 بمعامل مقداره عشرة، ووصل إلى ذروته في انفجار 1938[1381].

وعلى الرغم من أنه غير بارز مقارنةً بصفيحة جليد غرب القطب الجنوبي، إلاّ أن الكمية القصوى من المياه المنصهرة في آيسلاندا تبلغ أكثر من نصف المياه المنصهرة سنوياً، والتي ينتجها النشاط الجيوحراري في خزانات جداول جليد سيبل (Siple Ice Streams)، في القطب الجنوبي[1382]. كما إن البراكين تحت الجليدية على الأرض (آيسلاندا[1383][1384][1385][1386][1387]

(1380) H. F. J. Corr and D. G. Vaughan, «A Recent Volcanic Eruption Beneath the West Antarctic Ice Sheet,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 122-125.

(1381) H. Bjornsson and M. T. Guomundsson, «Variations in the Thermal Output of Thesub-Glacial Grimsvotn Caldera, Iceland,» *Geophysical Research Letters*, vol. 20 (1993), pp. 2127-2130.

(1382) I. Joughin [et al.], «Melting and Freezing Beneath Ross Ice Streams, Antarctica,» *Journal of Glaciology*, vol. 50 (2004), pp. 96-108.

(1383) N. Nielsen, «A Volcano under an Ice-Cap, Vatnajökull Iceland, 1934-1936,» *Geographical Journal,* vol. 40 (1936), pp. 6-23.

(1384) J. G. Jones, «Interglacial Volcanoes of the Laugarvatn Region, South-West Iceland I,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 124 (1969), pp. 197-211.

(1385) J. G. Jones, «Intraglacial Volcanoes of the Laugarvatn Region, South-West Iceland II,» *Journal of Geology*, vol. 78 (1969), pp. 127-140.

(1386) B. Brandsdottir [et al.], «Preliminary Results from a Refraction Profile across the Katla Sub-Glacial Volcano, South Iceland; Evidence for a Shallow Crustal Magma Chamber within a Propagating Rift Zone,» *EOS*, vol. 73 (1992), p. 277.

(1387) M. T. Gudmundsson, F. Sigmundsson and H. Bjornsson, «Ice-volcano Interaction of the 1996 Gjalp Sub-Glacial Eruption, Vatnajokull, Iceland,» *Nature*, vol. 389 (1997), pp. 954-957.

وكندا[1388][1389][1390]، والولايات المتحدة الأميركية[1391]، والقطب الجنوبي[1392][1393] والمريخ[1394][1395]، معروفة منذ زمن طويل. وليس هناك ميل جيوحراري عالياً فقط، بل هناك أيضاً انبعاثات ثابتة لغازات حارة جداً، ومياه حارة وانفجارات متقطعة. وفي كل مرة ينشعب جبل جليدي من مجلد قطبي جنوبي، يعرف بأنه دليل على احترار حراري. ولا يؤخذ بالاعتبار أي بديل آخر. وليس هناك تساؤل عمّا إذا كانت آلية أخرى تعمل. وقليلون هم الذين يعرفون أن هناك براكين تحت جليدية في القطب الجنوبي، وأن أجزاءً من قارة القطب الجنوبي تنشأ. وتفقد العمليتان استقرار صفائح الجليد، ويمكن أن تؤدي إلى انهيار مفجع مفاجئ لأجزاء من صفيحة الجليد.

إن درجات الحرارة بالقرب من القطبين الشمالي والجنوبي أدنى الآن مما كانت عليه عام 1930. وقد تمكنت عام 1957 الجيوفيزيائية الدولية من تأسيس محطات قياس إضافية كثيرة في القطب الجنوبي.

وعلى الرغم من أن الادعاءات تحذّرنا من احترار القطب الجنوبي، فإن هناك قصصاً مختلفة في الكتابات العلمية. ويمثل التحليل المساحي لبيانات الأرصاد الجوية القطبية الجنوبية ابتراداً صافياً في القارة القطبية الجنوبية للفترة

(1388) C. C. Allen, M. J. Jercinovic and J. S. B. Allen, «Subglacial Volcanism in North-Central British Columbia and Iceland,» *Journal of Geology*, vol. 90 (1982), pp. 699-715.

(1389) L. E. Jackson, «Pleistocene Sub-Glacial Volcanism near Fort Selkirk, Yukon Territory,» *Geological Survey of Canada Paper*, 89-1E (1989), pp. 251-256.

(1390) J. E. Dixon [et al.], «Volatiles in Basaltic Glasses from a Sub-Glacial Volcano in Northern British Columbia (Canada): Implications for Ice Sheet Thickness and Mantle Volatiles,» *Geological Society of London Special Publications*, vol. 202 (2002), pp. 255-271.

(1391) S. C. Porter, «Pleistocene Sub-Glacial Eruptions on Mount Kea,» in: Robert W. Decker, Thomas L. Wright, and Peter H. Stauffer, eds., *Volcanism in Hawaii* (Washington, DC: U.S. G.P.O. Denver, CO, for sale by the Books and Open-File Reports Section, U. S. Geological Survey, 1987), pp. 587-598.

(1392) W. E. LeMasurier, «Interglacial Volcanoes in Marie Byrd Land,» *Antarctic Journal U.S.* 11 (1976), pp. 269-270.

(1393) J. C. Behrendt [et al.], «Glacial Removal of Late Cenozoic Sub-Glacially Emplaced Volcanic Edifices by the West Antarctic Ice Sheet,» *Geology*, vol. 23 (1995), pp. 1111-1114.

(1394) C. A. Hodges and H. J. Moore, «The Sub-Glacial Birth of Olympus Mons and its Aureoles,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 84 (1978), pp. 8061-8074.

(1395) C. C. Allen, «Volcano-Ice Interactions on Mars,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 84 (1979), pp. 8048-8059.

1966 و2000[1396]. وتبيّن القياسات المأخوذة من 21 محطة لقياس السطح متوسط انهيار قاري سنوي بـ 0.008 درجة مئوية، ابتداءً من 1978 إلى 1998. وقد صودق على هذه القياسات بقياسات الأقمار الاصطناعية منذ 1979 للإشعاعات تحت الحمراء، التي بيّنت انخفاضاً في درجة حرارة القطب الجنوبي بـ 0.42 درجة في العقد[1397]. فإذا كان القطب الجنوبي يبترد، فيجب أن ينعكس هذا على زيادة في موسم جليد البحر. وهذا ما تم قياسه فعلاً[1398]، فقد بيّنت قياسات الأقمار الاصطناعية ودراسات الثقوب، أن صفيحة جليد القطب الجنوبي تزداد سماكة، وبالتالي يجب أن يكون هناك مزيد من الثلج. وهناك اقتراحات مبنية على قياسات الأقمار الاصطناعية بأن صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي تنمو، بدلاً من أن تذوب[1399].

لقد ذاب نحو ثلثي صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي في أزمنة ما بعد جليدية، وسيرفع المزيد من الذوبان مستوى سطح البحر. ولقد تزامن ارتفاع درجة الحرارة في غرب القطب الجنوبي، حيث ينمو الجليد، مع الابتراد في جنوب القطب الجنوبي. ويتيح لنا هذا إظهار التعقيدات المثيرة والنتائج المتناقضة التي يولدها البحث في المناخ في القطب الجنوبي. وتدل الملاحظات في لب الجليد أن تغيراً غير أساسي كان قد حصل في تساقط الثلج في القطب الجنوبي منذ عام 1957، مما يدل على أن تساقط الثلج في القطب الجنوبي لا يخفف من ارتفاع مستوى سطح البحر، على الرغم من احترار الغلاف الجوي فوقه للفترة بين 1976 و1998[1400]. وقد بيّنت قياسات انسياب الجليد في جداول جليد روس في القطب الجنوبي أن حركة الجليد تباطأت أو توقفت، وسمح ذلك للجليد بأن يتكاثف بالثلج المضاف[1401]. كما بيّن أن الأودية

(1396) P. T. Doran [et al.], «Antarctic Climate Cooling and Terrestrial Ecosystem Response,» *Nature*, vol. 415 (2002), pp. 517-520.

(1397) J. C. Comision, «Variability and Trends in Antarctic Surface Temperatures from in Situ and Satellite Infra-Red Measurements,» *Journal of Climate*, vol. 13 (2000), pp. 1674-1696.

(1398) A. B. Watkins and I. Simmonds, «Current Trends in Antarctic Sea Ice: The 1990s Impact on a Short Climatology,» *Journal of Climate*, vol. 13 (2000), pp. 4441-4451.

(1399) Wingham 2005 (Univ College London) Earth Observation Summit Brussels, Feb. 2005.

(1400) A. J. Monaghan [et al.], «Insignificant Change in Antarctic Snowfall since the International Geophysical Year,» *Science,* vol. 313 (2006), pp. 827-831.

(1401) I. Joughin and S. Tulaczyk, «Positive Mass Balance of the Ross Ice Streams, West Antarctica,» *Science*, vol. 295 (2002), pp. 476-480.

الجافة في القطب الجنوبي، التي اعتبرت طويلاً زعيمة تغير المناخ العالمي، قد أصبحت أبرد منذ ثمانينيات القرن العشرين[1402].

يمكن استعمال المواد الكيميائية المحدثة في الكون[1403] في شرق القطب الجنوبي لتبيان كبر وتوقيت تراجع صفيحة جليد شرق القطب الجنوبي منذ ذروة التجلد الأخير، قبل نحو 20000 عام. فما الذي وجد؟ لقد تغيرت سماكة صفيحة الجليد قليلاً منذ ذروة التجلد الأخير، ومع ذلك فإن دور شرق القطب الجنوبي في تغيير مستوى سطح البحر لا يذكر[1404].

تبيّن سلاسل الجبال الجليدية من صفيحة جليد القطب الجنوبي نبضات من القياس الألفي بين ما قبل 20,000 عام و74,000 عام خلال التجلد الأخير. وقد تزامنت هذه النبضات مع زيادات قوية في إنتاج المياه العميقة في شمال الأطلسي، ومع فترات قصيرة من الاحترار في شمال الأطلسي خلال التجلد الأخير[1405]. ولم تتكون هذه السلاسل من الجبال الجليدية نتيجة الاحترار، فقد وجدت خلال أزمنة باردة جداً.

لقد اختفى رف جليد روس (Ross Ice Shelf) وأعيد تشكيله عدة مرات[1406] بسبب دورات طبيعية. وكانت درجات الحرارة في رف جليد روس خلال ملايين السنين الماضية أدفأ بـ 2 إلى 3 درجات مئوية من الآن، على الرغم من الـ CO_2 الجوي الذي لم يرتفع فوق 300 ppmv، مقارنةً بـ 385 ppmv اليوم[1407]. وقد تعرضت رفوف جليد لارسن A (Larsen) وB لانكسار واسع قبل حوالى 5000 عام. وربما حدث الانكسار وإعادة النمو قبل بضعة

(1402) P. T. Doran [et al.], «Valley Floor Climate Observations from McMurdo Dry Valleys, Antarctica, 1986-2000,» *Journal of Geophysical Research,* 107 (2002), doi: 10.1029/2001JD00245.

(1403) Be^{10} and Al^{26}.

(1404) A. Mackintosh [et al.], «Exposure Ages for Mountain Dipsticks from MacRobertson Land, East Antarctica, Indicating Little Change in Ice-Sheet Thickness since the Last Glacial Maximum,» *Geology*, vol. 35 (2007), pp. 551-554.

(1405) S. L. Kanfoush [et al.], «Millennial-Scale Instability of the Antarctic Ice Sheet during the Last Glaciations,» *Science*, vol. 288 (2000), pp. 1815-1819.

(1406) C. J. Putse [et al.], «Ice Shelf History from Petrographic Foraminiferal Evidence, Northwest Antarctic Peninsula,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 25 (2006), pp. 2357-2379.

(1407) I. Joughlin and S.Tulaczyk, «Positive Mass Balance of the Ross Ice Streams, West Antarctica,» *Science*, vol. 295 (2002), pp. 476-480.

قرون، وقد يعود تاريخ الحدود القصوى لرف الجليد إلى العصر الجليدي الصغير، قبل بضع مئات من السنين[1408].

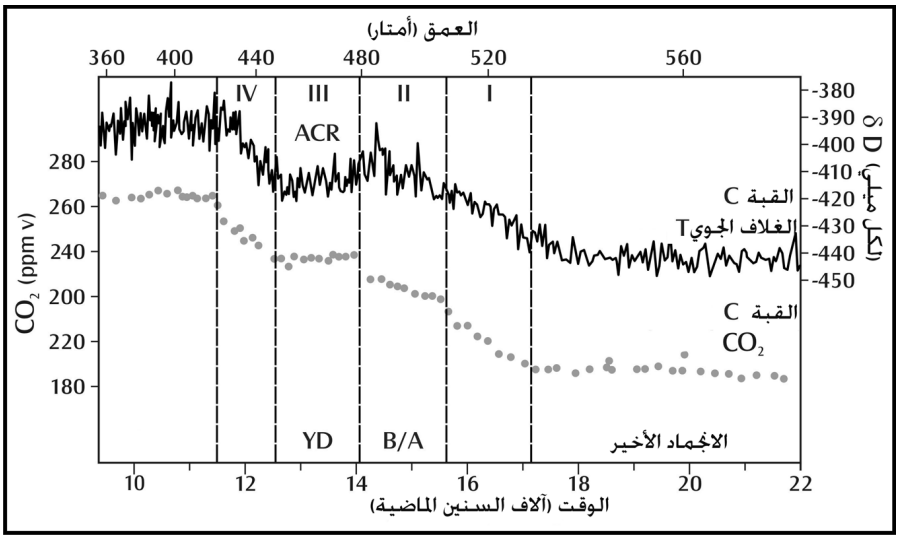
لقد فقد رف لارسن B الجليدي عام 1998 على الجانب الشرقي من شبه الجزيرة القطبية الجنوبية مقداراً كبيراً من الجليد. وحدث هذا مرة أخرى في آذار/مارس 2002. ولقد أرعب هيجان الإعلام الناس فجعلهم يصدقون أن القطب الجنوبي يذوب، وأنه سيكون هناك ارتفاع عالمي في مستوى سطح البحر. ولم يكن هناك أي شيء غير عادي في درجة حرارة القطب الجنوبي. وخلال خمسة أسابيع، تفكك رف جليد لارسن B السميك إلى عدد كبير من الجبال الجليدية. وفتحت أصداع عميقة جانبية بلغ عمقها 6 أمتار، بشكل واسع. وكان تشعيب الجبال الجليدية في نهاية الصيف بعد موسم يَعمه الضياء لمدة 24 ساعة في اليوم، وتيارات محيط أدفأ ورياح أدفأ. وكان الانكسار الجانبي، وإنتاج الأصداع والانهيار الجزئي لصفائح الجليد هو المعيار، وليس الاستثناء، فقد كان فقد صفائح الجليد هو جزء من موازنة المجموعة الجليدية. ويمثل هذا ما نعرفه: إن صفائح الجليد ديناميكية. وفي آب/أغسطس 2002، بعد خمسة أشهر من انهيار بعض من رف جليد لارسن Bفقط، قالت ناسا إن جليد بحر القطب الجنوبي كان يتزايد بين 1979 و1999 في جميع المناطق، ما عدا شبه الجزيرة القطبية الجنوبية. وبين الفقد والكسب في جليد البحر تزايد في المساحة بمقدار 2.6 مليون كيلومتر مربع.

خلافاً للتوقعات المرعبة والكارثية عن فقد صفائح الجليد الذي يسبّبه احترار كوني يؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر الذي يدمر مجموعات منخفضة من شطآن اليابسة المنخفضة، هناك دلائل مناقضة[1409] فباستخدام مقياس ارتفاع من إصداء قمر اصطناعي لتحديد سماكة صفيحة جليد القطب الجنوبي من 1992 إلى 2003، تبين أن صفائح الجليد تنمو بـ 29 ± 27 مليار طن في العام، مما يكفي لتخفيض مستوى سطح البحر بـ 0.08 ملليمتراً في العام حيث تنتزع المياه من المحيطات لإنتاج ثلج متراكم. تعاملت هذه الدراسة

(1408) C. J. Pudsey and J. Evans, «First Survey of Antarctic Sub-Ice Sediments Reveals Mid-Holocene Ice Shelf Retreat,» *Geology*, vol. 29 (2001), pp. 789-790.

(1409) D. J. Wingham [et al.], «Mass Balance in the Antarctic Ice Sheet,» *Philosophical Transcactions of the Royal Society*, A364 (2006), pp. 1627-1635.

مع 85 في المئة من صفيحة جليد شرق القطب الجنوبي، و51 في المئة من صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي الذي يقدر بـ 72 في المئة من صفائح الجليد القاعية. وإنه الموسم الذي يجب أن تعاد فيه حسابات التقديرات الإنذارية. سيرتفع مستوى سطح البحر المقدر من ذوبان مجلدات أودية جبال الألب وأغطية الجليد 5 سنتمترات فقط بحلول عام 2100[1410]، أي حوالى نصف التقديرات السابقة.



الشكل 28: تحديدات مفصلة عن درجة الحرارة والـ CO_2 الجوي من لب جليد القطب الجنوبي في القبة C مبينةً أن درجة الحرارة ازدادت قبل 14500 عام مضت وازداد الـ CO_2 الجوي قبل حوالى 14000 عام. وإن الزيادات التدريجية الأخرى في الـ CO_2 لا تتعلق بدرجة الحرارة. وإن الفرضية القائلة إن اصدار الإنسان للـ CO_2 يحدث احتراراً حرارياً غير صحيحة. من هذه البيانات التي يتبيّن أن ارتفاعاً في CO_2 الجوي يتبع ارتفاع درجة الحرارة وليس العكس.

لقد استعملت التحليلات الأولية للب جليد فوستوك (Vostok Ice) عيّنات تفصلها عن بعضها البعض مئات السنين. وكانت الاستنتاجات الأولية تقول إن تركيز CO_2 العالي في الغلاف الجوي أدى إلى درجات حرارة عالية. ولكن مع قياسات أكثر تفصيلاً ضمن مدى عقود خلال سجل 250000 عام للب الجليد

S. Raper and R. Brathwaite, «Low Sea Level Rise Projections from Mountain Glaciers (1410) and Ice Caps under Global Warming.» *Nature*, vol. 439 (2006), pp. 311-313.

وعلاقة سجل 35000 عام للب جليد من قبة تيلور، تبيّن أن درجات الحرارة العليا تتبعها بعد 400 إلى 1000 عام بمحتوى CO_2 جوي عال[1411][1412]. إلا أن دراسة حديثة تستعمل نظائر من لب جليد القطب الجنوبي أفادت بارتفاع واحد لدرجة الحرارة، وأن تركيز CO_2 تزايد في فترة بين 200 إلى 800 عام بعد هذا الارتفاع المحدد في درجة الحرارة[1413]. وخلال الـ 420000 عام الأخيرة كانت هناك تغيرات كبيرة في درجة الحرارة، وارتفاع في تركيز الـ CO_2 يتبع ازدياد درجة حرارة الهواء بعد حوالى 800 عام، وأنه فقط بعد فترة ابتراد انخفض الـ CO_2. وليس هذا مفاجئاً، إذ إن الـ CO_2 أكثر ذوباناً في المياه الباردة منه في المياه الدافئة.

يعطي تثقيب الجليد بالمشروع الأوروبي للب الجليد في القطب الجنوبي (European Project for Ice Coring in Antarctica) (EPICA)، في محطة كونكورديا، القبة C، نظرة أخرى في الزمن خلال 800000 عام. ولقد لوحظت ثمانية دورات للبيوت الجليدية والدفيئة[1414]. كما تمّت إعادة بناء درجات حرارة القطب الجنوبي[1415]، مثل ما تم مع محتوى CO_2 والميثان وأكسيد النيتروجين[1416][1417]. وركزت قياسات مفصلة أكثر[1418][1419] على تاريخ CO_2 في الهواء القديم المحبوس بالجليد. ودمرت بذلك أمثلة صارت شائعة. وقبل

(1411) H. Fischer [et al.], «Ice Core Record of Atmospheric CO_2 around the Last Three Glacial Terminations,» *Science*, vol. 283 (1999), pp. 1712-1714.

(1412) M. Mudelsee, «The Phase Relations among Atmospheric CO_2 Content, Temperature and Global Ice Volume over the Past 420 Ka,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 20 (2001), pp. 583-589.

(1413) N. Caillon [et al.], «Timing of Atmospheric CO_2 and Antarctic Temperature Changes across Termination III,» *Science*, vol. 299 (2003), pp. 1728-1731.

(1414) C. Kull [et al.], «The EPICA Challenge to the Earth System Modeling Community,» *EOS*, vol. 85 (2004), doi: 10.1029/2004EO380003.

(1415) L. Augustin [et al.], «Eight Glacial Cycles from Antarctic Ice,» *Nature*, vol. 429 (2004), pp. 623-628.

(1416) U. Siegenthaler [et al.], «Stable Carbon Cycle-Climate Relationship during the Late Pleistocene,» *Science*, vol. 310 (2005), pp. 1313-1317.

(1417) R. Spahni [et al.], «Atmospheric Methane and Nitrous Oxide of the Late Pleistocene from Antarctic Ice Cores,» *Science*, vol. 310 (2005), pp. 1317-1321.

(1418) D. Lüthi [et al.], «High-Resolution Carbon Dioxide Concentration Record 650,000-800,000 Years before the Present,» *Nature*, vol. 453 (2008), pp. 379-383.

(1419) L. Loulergue [et al.], «Orbital and Millennial-Scale Features of Atmospheric CH_4 over the Past 800,000 Years,» *Nature*, vol. 453 (2008), pp. 383-386.

800,000 و650,000 عام مضت، انخفض CO_2 الجوي تحت 180 ppmv، غير أن درجة الحرارة لم تتغير. وإن درجة الحرارة والـ CO_2ليستا مرتبطتين. إضافةً إلى ذلك، كان هناك اتجاه طويل الأمد في ما يخص الـ CO_2 فارتفع بمقدار 25 ppmv للفترة من 800000 إلى 400000 عام ماضية ثم انخفض بـ 15 ppmv بعد ذلك. ومرة أخرى، كان هناك انقطاع بين درجة الحرارة وتركيز الـ CO_2. والأمر الأكثر جلباً للاهتمام هو أن مستويات الميثان في الهواء المقيد تغيرت من 100000 ـ إلى 20000 دورة سنوية. وخلافاً لذلك، بينت درجة الحرارة والـ CO_2 دورات من 100000 عام.

تدل ملاحظات لصفيحة جليد القطب الجنوبي أن صفيحة جليد شرق القطب الجنوبي متوازنة في هذه الأيام، بينما تظهر صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي بعض التغيرات التي قد تكون لها علاقة بتغير المناخ وتوازنه السلبي. ويدل هذه الاستنتاج، الذي استشرف من مسح قياس المرتفعات، على عدم وجود دلائل للذوبان الدراماتيكي لصفيحة جليد القطب الجنوبي[1420]. وإن لصفيحة جليد غرب القطب الجنوبي انخفاضاً بارزاً خلال الـ 2.5 مليون عام الماضية. وهناك تغيرات دورية لصفائح جليد القطب الجنوبي وغرينلاند[1421]. وليس للتغيرات في نشأة صفائح جليد القطب الجنوبي إلا أن تكون متوقعة، وكل شيء على الأرض سوى ذلك يتطور.

هناك شكوك كبيرة تتعلق بمساهمة القطب الجنوبي الحالية والمستقبلية بتغير مستوى سطح البحر. وعلى الرغم من أن الاحترار قد يزيد من تساقط الثلوج داخل القارة[1422]، إلا أن هذا الاحترار قد يسرّع التفكك الجليدي على الساحل حيث يمكن أن يكون هناك هواء وماء أدفأ[1423]. لقد بيّن استعمال الرادار أن الخسارة في (ويلكس لاند Wilkes Land) والكسب في (رفوف جليد

(1420) F. Remy and M. Frezzotti, «Antarctic Ice Sheet Mass Balance: Comptes Rendus,» *Geosciences*, vol. 338 (2007), pp. 1084-1097.

(1421) G. Ramillien [et al.], «Interannual Variations of the Mass Balance of the Antarctica and Greenland Ice sheets from Grace,» *Global and Planetary Change*, vol. 53 (2006), pp. 198-208.

(1422) C. H. Davis [et al.], «Snowfall-Driven Growth in East Antarctica Ice Sheet Mitigates Recent Sea Level Rise,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 1898-1901.

(1423) E. Rignot, «Changes in Ice Dynamics and Mass Balance of the Antarctic Ice Sheet,» *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A 364 (2006), pp. 1637-1656.

فلشنر وروس (Filchner and Ross Ice Shelves) في المجلدات يجتمعان لتبيان الخسارة مقابل الكسب في الجليد[1424]. هناك فقدان واسع للجليد في غرب القطب الجنوبي على طول بحار بلينغهاوسن وأموندسن (Bellingshausen and Amundsen Seas) التي تزايدت بنسبة 140 في المئة في العقد ذاته. وإن الخسارات مركزة على طول القنوات الضيقة التي تحتلها مجلدات فارغة، التي يسبّبها التسارع الجليدي القديم والحديث. وإن لهذه التغيرات في معدل انسياب المجلد أثراً رئيسياً على كمية الجليد في القطب الجنوبي.

في القطب الشمالي، وكما هو الحال في القطب الجنوبي يغير دفع المياه بالرياح من درجة الحرارة. وقد تبعت فترة من الاحترار في غرب القطب الجنوبي أواخر الثمانينيات وأوائل التسعينيات انتقال المياه العميقة حول القطبية إلى الرف القاري الداخلي من خلال حوض بحري. وإن الاختلافات في انسياب المياه متعلقة بتغيرات الرياح الموسمية والعقودية (كل 10 سنوات)[1425].

يدفأ القطب الجنوبي ويبترد. وكانت هناك دورات لـ 200 إلى 300 عام ملاحظة من الأحفوري[1426]، وقياسات لب الجليد[1427]، وترتبط هذه الدورات بالدورات الشمسية التي تُرى متعلقة بتغيرات في الغلاف الجوي، والمحيطات، والحياة[1428]. إن هجرة أسراب البطريق التي تحركها درجة الحرارة دلالة على المناخ المتقلب[1429]. إن القطبين الشمالي والجنوبي متفاوتان في الطور[1430]. إذ

(1424) E. Rignot [et al.], «Recent Antarctic Ice Mass Loss from Radar Interferometry and Regional Climate Modeling,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 106-110.

(1425) S. Jacobs, «Observations of Change in the Southern Ocean,» *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 364A (2006), pp. 1657-1681.

(1426) E. W. Domack [et al.], «300 Year Cyclicity in Organic Matter Preservation in Antarctic Fjord Sediments,» in: James P. Kennett and Detlef A. Warnke, *The Antarctic Paleoenvironment: A Perspective on Global Change* (Washington, DC: American Geophysical Union, 1992-1993), pp. 265-272.

(1427) P. D. Jones [et al.], «Decadal Timescale Links between Antarctic Peninsula Ice-Core Oxygen-18, Deuterium and Temperature,» *The Holocene,* vol. 3 (1993), pp. 14-26.

(1428) A. Leventer [et al.], «Productivity Cycles of 200-300 Years in the Antarctic Peninsula Region: Understanding Linkages among the Sun, Atmosphere, Ocean and Biota,» *Geological Society of America Bulletin,* vol. 108 (1996), pp. 1626-1644.

(1429) C. Baroni and G. Orombelli, «Abandoned Penguin Rookeries as Holocene Paleoclimate Indicators in Antarctica,» *Geology*, vol. 22 (1994), pp. 23-26.

(1430) G. C. Rosqvist and P. Schuber, «Millennial-Scale Climate Changes on South Georgia, Southern Ocean,» *Quaternary Research*, vol. 59 (2003), pp. 470-475.

تزداد درجات حرارة القطب الجنوبي فيما يحدث ابتراد في غرينلاند ضمن مقياس ألفي (Millenial Scale)[1431]. وإن هذه التغيرات في المناخ القطبي مسجلة بأفضل حالاتها خلال الأزمنة الجليدية[1432]. ويبيّن هذا أن تغيرات المناخ الكوني ليست كونية تماماً. فالاحترار في القطب الجنوبي والتيارات المحيطة بالقطب تؤدي إلى تغيرات في شمال الأطلسي بعد نحو 1500 عام[1433]. وقد دعمت هذه بقياسات بيّنت أنه خلال الـ 90000 عام الماضية كانت هناك علاقة بين الميثان، في المشروع الثاني للميثان في صفيحة جليد غرينلاند (GRIP2)، ولب جليد برد[1434] (Byrd). وتؤكد مقارنة درجات الحرارة منذ ذروة التجلد الأخير في غرينلاند[1435] والقطب الجنوبي[1436]، هذا النقص في تغير المناخ المتزامن. وبينما نرى أن المناخات قد تغيرت في الماضي، كان القطب الجنوبي متقدماً 1000 ـ 2000 عام على غرينلاند[1437]. وأن أصل هذا التأرجح القطبي غير معروف، وربما يتحرك بتغيرات في ميزات سطح بعيدة عن خط الاستواء أو قريبة من خط الاستواء. وتدل نماذج أخرى على أنه مُحرَّك بناقل محيطي عميق لأن مياه شمال الأطلسي العميقة لا يمكنها أن تدخل المحيط الجنوبي في مناطق أكثر ضحالة من قاع ممر دريك. ويتطلب مئات السنين لتدفئة مناطق بعيدة عن خط الاستواء، ويعمل التأرجح مثل البندول (Pendulum) (أو رقاص الساعة) بين القطبين[1438].

(1431) N. Shackleton, «Climate Change across the Hemispheres,» *Science,* vol. 291 (2001), pp. 58-59.

(1432) T. Blunier [et al.], «Asynchrony of Antarctic and Greenland Climate Change during the Last Glacial Period,» *Nature*, vol. 394 (1998), pp. 739-743.

(1433) D. C. Leuschner and F. Sirocko, «The Low-Latitude Monsoon Climate during Dansgaard-Oeschger Cycles and Heinrich Events,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 19 (2000), pp. 243-254.

(1434) T. Blunier and E. J. Brook, «Timing of Millennial-Scale Climate Change in Antarctica and Greenland during the Last Glacial Period,» *Science*, vol. 291 (2001), pp. 109-112.

(1435) O. Humlum, «Late Holocene Climate in Central West Greenland: Meteorological Data and Rock Glacier Isotope Evidence,» *The Holocene*, vol. 9 (1999), pp. 581-594.

(1436) O. Ingolfsson, C. Hjort and O. Humlum, «Glacial and Climate History of the Antarctic Peninusla since the Last Glacial Maximum,» *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 35 (2003), pp. 175-186.

(1437) C. Wunsch, «Greenland-Antarctic Phase Relations and Millennial Time Scale Climate Fluctuations in the Greenland Ice-Cores,» *Quaternary Science Reviews,* vol. 22 (2003), pp. 1631-1646.

(1438) D. Seidov and M. Maslin, «Atlantic Ocean Piracy and the Bipolar Climate See-Saw during Heinrich and Dansgaard-Oeschger Events,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 16 (2001), pp. 321-328.

مجلدات أودية الألب

لا يزال تقليدياً في أوروبا أن تذهب للمشي يوم الأحد (Spaziergang). وفي عام 2003 كانت السيدة أورسولا لوينبرغر وزوجها يتمشيان في الجبال، فوق منطقة ثون (Thun) (سويسرا) في ممشى جليدي على ممر شنيديوخ. كان الجليد قد تراجع قليلاً في صيف عام 2003 الطويل عندما وجدت السيدة لوينبرغر ملفات من سهام مصنوعة من خشب ألبتولا عمرها 4700 عام. وكشف العمل الآركيولوجي اللاحق عن مئات من موجودات تعود إلى الفترة الحجرية الحديثة (Neolithic)، والعصر البرونزي والأزمنة الرومانية، ومنها جزء من حذاء يعود إلى زمن في نهاية احترار العصور الوسطى. لقد كان ممر شنيديوخ (Shnide joch) طريقاً مختصرة ومنسية منذ مدة في جبال الألب. ولا بدّ أنه كان خالياً من الجليد في فترة من الفترات، وفي أوقات أخرى غطى الجليد المتقدم هذه الموجودات الآركيولوجية. وإنه من الواضح أن مجلدات وادي الألب كانت في تقدم وتراجع، وأن ممر شنيديوخ كان طريقاً تجارياً نافعاً في أزمنة دافئة، وأن تغير المناخ كان له أثر بارز في التجارة والسفر، وحياة الأوروبيين. ويبدو أن أوقات فتح ممر شنيديوخ المتعددة لم تكن متزامنة تماماً مع الأزمنة الدافئة، وذلك لأنه على الرغم من أن درجة الحرارة قد تكون ازدادت في احترارات سابقة، إلا أن الجليد يحتاج إلى كمية كبيرة من الحرارة لكي يذوب، ويبقى فاصل بين الاحترار وذوبان الجليد.

لقد خسر مجلد تجياكاو دل كالديروني (Ghiacciaio del Calderone) في جبال أبنين (Apennine Mountains) نصف حجمه منذ عام 1794 مع خسارة بطيئة من 1794 إلى 1884، ثم كان هناك ذوبان سريع حتى 1990[1439]. وهذا الفقدان للجليد حدث في العصر الجليدي الصغير، ولا يمكن أن يتعلق بالاحترار الكوني الحديث المستمد من اصدارات الإنسان للـ CO_2. هذا وترفض مجلدات أوروبية أخرى، مثل مون بلان (Mont Blanc) أن تذوب[1440].

(1439) M. D'Orefice [et al.], «Retreat of Mediterranean Glaciers since the Little Ice Age: Case Study of Ghiacciaio del Calderone (Central Apennines, Italy),» *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, vol. 32 (2000), pp. 197-201.

(1440) C. Vincent [et al.], «Very High-Elevation Mont Blanc Glaciated Areas not Affected by the 20th Century Climate Change,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), doi: 10.1029/2006JD007407.

ومن الأخبار الجيدة أن مجلدات وادي الألب لا تتراجع. فقد بيّنت قياسات لتراجعات وتقدمات من مجلدات في الفترة 1946 ـ 1995 لـ 246 مجلداً أن ليس هناك علامة عن أي اتجاه عالمي حديث نحو ذوبان جليدي متزايد[1441]. وكانت القياسات معمولة في أوروبا الغربية، وشمال أميركا والاتحاد السوفياتي سابقاً. وقد أجريت قياسات أخرى في أجزاء أخرى من العالم. وتم الحصول على البيانات من مسندات وحفر ثلجية، وستبدل هذه البيانات بعد استخدام تقنيات جيوديسية (Geodetic) وتقنيات استشعار عن بعد.

تتراجع المجلدات وتتقدم، وتذوب باستمرار، وهذا بالضبط ما تفعله. وقد يكون تراجع المجلد أو تقدمه مؤشراً ضعيفاً إلى تغيّر درجة الحرارة، غير أن نمو المجلدات وتراجعها ليس بالضرورة مؤشراً بسيطاً إلى تغيّر درجة الحرارة الحديث. وتكسب المجلدات جليداً خلال الترسبات المتزايدة، التي يمكن أن تحدث خلال أزمنة أدفأ، ويمكن للمجلدات أن تنتج جبالاً جليدية كنتيجة للانسياب اللدن (الطيع) للجليد (Plastic Flow of Ice). ويحدث هذا الانسياب اللدن في أزمنة دافئة وباردة، وينتج من عمليات بدأت قبل آلاف السنين. وتختلف الاستجابة المجلدية (Clodiness) لتغير المناخ خلال الزمن اعتماداً على شكلها، وموقعها، وارتفاعها. كما تستجيب لتغيرات في الترسبات، والرطوبة والتغيم. ويدل النموذج التجلدي على أن معظم مجلدات وادي الألب ستختفي مع الاحترار السريع (0.04 درجة مئوية في العام) بعد مئة سنة. غير أن احتراراً أبطأ (0.01 درجة مئوية في العام) مع التزايد الأغلب في الانخساف يعني أن المجلدات ستتناقص فقط في حجمها بمقدار 10 إلى 20 في المئة بعد مئة عام[1442].

بدأت مجلدات وادي الألب الرئيسية في العالم بالتقلص نحو عام 1850، وتوقف نصفها عن التقلص حوالى 1940، وبدأ بعضها بالنمو بعد 1940. وإن مجال الجليد القطبي الشمالي يتقلص ويصبح رقيقاً. وهناك 18 مجلداً في القطب الشمالي له تاريخ ملحوظ وطويل، وأكثر من 80 في المئة منها فقد حجماً منذ العصر الجليدي الصغير.

(1441) R. J. Braithwaite, «Glacier Mass Balance: The First 50 Years of International Monitoring,» *Progress in Physical Geography,* vol. 26 (2002), pp. 76-95.

(1442) J. Oerlemans [et al.], «Modeling the Response of Glaciers to Climate Warming,» *Climate Dynamics,* vol. 14 (1998), pp. 267-274.

أصبح مجلد فورتونغلر (Furtwängler Glacier) في مرتفع كليمانجارو (ارتفاعه 5895 متراً) أيقونة الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان، حيث تقلص من أكثر من 12 كيلومتراً مربعاً إلى 2.2 كيلومتر مربع منذ عام 1880[1443]. إن مجلدة فورتونغلر هو أثر متبقٍ من صفيحة جليد أكبر ولها منحدرات جليدية عمودية في نهايتها. وإن للتقدم والتراجع الجليدي مُعامل تباطؤ (Lag Factor) فاصلاً، وعلينا أن نتذكر أن العصر الجليدي الصغير انتهى عام 1850. ولا يمكن أن يكون التقلص قد حدث بسبب اصدارات الإنسان للـ CO_2 في القرن العشرين. بل، إن سببه هو زيادة جفاف هواء الجبال منذ عام 1880. إضافةً إلى ذلك، إن من المعروف أن الإشعاع الشمسي يسبّب تسامي (Sublimation) الجليد، وليس درجة حرارة الهواء، وهو من العوامل الرئيسية لفقدان الجليد من المجلدات القطبية. تتشكل أنصال (Blades) من الجليد يصل ارتفاعها إلى مترين بالتسامي الذي يحركه الإشعاع الشمسي المباشر واتجاه النصل الذي يعمل مثل بوصلة لأنه يشير إلى موضع الشمس عند الظهر.

نتج من الهواء الجاف في كليمانجارو ترسب أقل ولم يُبدَل ذوبان الجليد بالثلج، وبالتالي دفع الجليد إلى حال من عدم التوزان، وفاق معدل الذوبان معدل الترسب. ولم تكن تلك عملية بطيئة، بل كانت انخفاضاً سريعاً وقاسياً في الرطوبة الجوية في نهاية القرن التاسع عشر، ربما بسبب المسح الأرضي (Land Clearing) في الارتفاع المنخفض[1444]. لقد اختفى نحو 21 في المئة من مساحة الجليد بين عام 1953 وعام 1976. غير أن هذا كان في فترة الابتراد بين عامي 1940 و1976 وتباطأ تراجع الجليد بعد عام 1979، ولم يساهم الاحترار العالمي في تراجع الجليد في مرتفع كليمانجارو.

يبيّن تاريخ الجليد على مرتفعات كليمانجارو أن الجليد يأتي ويذهب. وتبيّن دراسة للغبار ونظائر الأكسجين في لب الجليد في كليمانجارو[1445] أنه كانت هناك ثلاث فترات من تغير مفاجئ للمناخ (8500، 5200 و4000 عام مضت). وإن للفترة

(1443) W. C. Mahaney, *Ice on the Equator: Quaternary Geology of Mount Kenya* (Sister Bay, Wis: Wm Caxton Ltd., 1990).

(1444) G. Kaser [et al.], «Modern Glacier Retreat on Kilimanjaro as Evidence of Climate Change: Observations and Facts,» *International Journal of Climatology*, vol. 24 (2004), pp. 329-339.

(1445) L. G. Thompson [et al.], «Kilimanjaro Ice Core Records: Evidence of Holocene Climate Change in Tropical Africa,» *Science*, vol. 298 (2002), pp. 589-593.

الأفريقية الرطبة من 11000 إلى 4000 عام مضت علامة كيميائية للظروف الأدفأ والدخان (المغنيزيوم، والكالسيوم، والكبريتيك، والنترات). وكان الإشعاع الشمسي أعلى في هذا الزمن بسبب مدار الأرض (التقدم أو Precession).

كذلك كان الجليد يتشكل في كليمانجارو في هذا الزمن. وارتفعت البحيرات الأفريقية الاستوائية خلال معظم هذه الفترة، بمقدار 100 متر فوق المستويات الحالية، مع تمدد بحيرة تشاد من نحو 17.000 كيلومتر مربع إلى 330,000 كيلومتر مربع، بحجم بحر قزوين الحديث[1446][1447][1448]. وكان مقدار هطول المطر فوق شرق أفريقيا حوالى ضعف مقداره اليوم[1449]. فخلال الفترة الرطبة الأفريقية كانت فترة رطبة ثانية من 6500 إلى 5000 عام مضت عندما كان الجو أكثر جفافاً من قبل وأكثر رطوبة من الآن، وتغيرت مستويات البحيرات والنباتات استجابةً إلى تغير المناخ.

خلال تغير المناخ هذا بدأت المجتمعات الطبقية لوادي النيل وبلاد ما بين النهرين، قبل نحو 5300 عام، تتكون، وبدأت المستعمرات البدائية للصحراء العربية الداخلية تُهجر[1450]. وانخفضت مستويات البحار قبل نحو 4000 عام، حيث أصبحت الظروف أبرد وأجف وأنشط رياحاً. ويمثل هذا بطبقة كبيرة من الغبار في جليد كليمانجارو، فإن فترة من الجفاف الشديد قد بدأت قبل نحو 4000 عام. وقد عرف هذا الجفاف الذي امتد 300 عام في شمال أفريقيا وفي أفريقيا الاستوائية، والشرق الأوسط وغرب آسيا[1451][1452]، فانهارت حضارات

(1446) F. A. Street and A. T. Grove, «Environmental and Climatic Implications of Late Quaternary Lake-Level Fluctuations in Africa,» *Nature*, vol. 261 (1976), pp. 385-390.

(1447) A. T. Grove and A. Warren, «Quaternary Landforms and Climate on the South Side of the Sahara,» *Geographical Journal*, vol. 134 (1968), pp. 194-208.

(1448) F. Gasse, «Hydrological Changes in the African Tropics since the Last Glacial Maximum,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 19 (2000), pp. 189-211.

(1449) F. A. Street-Perrott and R. A. Perrott, «Abrupt Climate Fluctuations in the Tropics: The Influence of Atlantic Circulation,» *Nature*, vol. 343 (1990), pp. 607-612.

(1450) F. Sirocko [et al.], «Century-Scale Events in Monsoonal Climate over the Past 24,000 Years,» *Nature*, vol. 364 (1993), pp. 322-324.

(1451) H. -J. Pachur and P. Hoelzmann, «Late Quaternary Palaeocology and Palaeoclimates of the Eastern Sahara,» *Journal of African Earth Sciences*, vol. 30 (2000), pp. 929-939.

(1452) F. Gasse and E. van Campo, «Abrupt Post-Glacial Climate Events in West Asia and North Africa Monsoon Domains,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 126 (1994), pp. 435-456.

كثيرة[1453]، وربما كان الجفاف هذا عالمياً كما يسجل الغبار في لب الجليد من مجلد هواسكاران في الآنديز شمال البيرو[1454]. نمت صفيحة جليد كليمانجارو وتقلصت بالانسجام مع ابترادات واحترارات واسعة الأمد في أفريقيا خلال السنين الـ 4000 الماضية، وتشكل أحد مجالات الجليد في كليمانجارو خلال العصر الجليدي الصغير.

خلافاً للافتراض العام بأن المجلدات حول العالم تتراجع بسرعة تقدم مجلد سياخن الذي طوله 74 كيلومتراً في جبال كاراكورام في الهند 700 متر ابتداء من عام 1862 إلى عام 1909، وتم تعديل هذه التقدم بتراجع أسرع من عام 1929 إلى عام 1958. والمجلد الآن لا يتراجع ولا يتقدم. وقد وصلت مجلدات استوائية في جنوب أميركا، وأفريقيا، وبابوا في غينيا الجديره وجايا الإيرية، إلى مداها الأقصى خلال العصر الجليدي الصغير، وإنها تتراجع منذ أواخر القرن التاسع عشر[1455]. وتراجع مجلد كويلكايا (Quelccaya) في البيرو بسرعة في السنوات الحديثة، فيما تراجع مرتفع كليما نجارو على الأقل 80 في المئة منذ 1912، وتقلص غطاء جليد مرتفع كينيا بـ 40 في المئة منذ 1963، وفقدت فنزويلا أربعة من مجلداتها الست في الثلاثين عام الأخيرة. كما شهدت ثلاثينيات وأربعينيات القرن العشرين فقداناً كبيراً سريعاً، وتباطأ في الذوبان عام 1970، بينما تقدمت بعض المجلدات. ثم كان هناك تراجع جليدي سريع في أواخر التسعينيات.

كان في جزيرة القطب الشمالي الروسية نوفايا زملايا (Novaya Zemlya) تراجع جليدي سريع قبل 1920، ثم تباطأ التراجع، وبعد 1950، توقفت مجلدات كثيرة عن التراجع وبدأت مجلدات مياه المد والجزر بالتقدم[1456].

(1453) H. N. Dalfes, G. Kukla and H. Wiess, «Third Millennium Climate Change and Old World Collapse,» in: NATO ASI Series 1, *Global Environmental Change* (Berlin: Springer-Verlag, 1994).

(1454) L. G. Thompson, E. Mosley-Thompson and K. A. Henderson, «Ice-Core Palaeoclimate Records in Tropical South America since the Last Glacial Maximum,» *Journal of Quaternary Science,* vol. 15 (2000), pp. 377-394.

(1455) G. Kaser, «A Review of the Modern Fluctuations of Tropical Glaciers,» *Global and Planetary Change*, vol. 22 (1998), pp. 93-103.

(1456) J. J. Zeeberg and S. L. Forman, «Changes in Glacial Extent on North Novaya Zemlya in the Twentieth Century,» *Holocene*, vol. 11 (2001), pp. 161-175.

وخلال السنين الـ 40 الماضية، أصبحت درجات حرارة الصيف والشتاء في نوفايا زمليا أدنى. وكانت مجلدات اسكندنافيا كثيرة تنمو، وبقيت المجلدات في جبال القوقاز في روسيا في توازن[1457]. فعلى سبيل المثال، اتسع مجلد في السويد خلال الـ 40 عاماً الماضية[1458]، واتسع حجمه في التسعينيات[1459]. وكانت المجلدات في الجزء الغربي من النرويج تتقدم في العقدين الأخيرين[1460].

كان لأربعة مجلدات في شمال أيسلاندا ذروات في عام 1968، و1885، و1898 و1917. واستمر مجلدان في التراجع حتى عام 1985 (عندما توقفت الدراسات) وتقدم المجلدان الآخران ضمن فترات منتظمة عندما كانت درجة الحرارة تحت 8 مئوية. وتقدم مجلد سولهايم جوكل في جنوب أيسلاندا وتراجع تكراراً خلال الـ 300 عام ناتجاً من تلازمات بين الابتراد والترسبات المتزايدة[1461]. وتراجع سولهايما جوكل (Sólheimajökull) بسبب احترار القطب الشمالي المتسع بين 1920 و1940، بينما كانت تقدماته منذ 1970 استجابة للابتراد والانخساف المتزايد. وكانت أيسلاندا دافئة في القرن الثامن عشر مقارنةً بالقرن العشرين، بينما كانت أبرد فترة في التاريخ الحديث هي ثمانينيات القرن الثامن عشر. كانت تقدمات المجلد حوالى 3000 عام قبل الميلاد، و1100 عام قبل الميلاد، و600 عام بعد الميلاد، و900 بعد الميلاد، وعام 1300 بعد الميلاد نتجت من ابتراد مقداره درجة إلى درجتين مئويتين. وتتعلق هذه بالاتساع الجليدي العالمي، والتغيرات الجوية في غرينلاند والتغيرات في دروان مياه المحيط شمال أيسلاندا. وتبع الاتساع الجليدي فترات عندما كان جليد البحر واسعاً في غرينلاند وبحار بارنتس (Barents)[1462].

(1457) C. J. Caseldine, «The Extent of Some Glaciers in Northern Iceland during the Little Ice Age and the Nature of Recent Deglaciation,» *The Geographical Journal,* vol. 151 (1985), pp. 215-227.

(1458) R. J. Brathwaite, «Glacier Mass Balance: The First 50 Years of International Monitoring,» *Progress in Physical Geography*, vol. 26 (2002), pp. 76-95.

(1459) R. J. Brathwaite and Y. Zhang, «Relationships between Interannual Variability of Glacial Mass Balance and Climate,» *Journal of Glaciology*, vol. 45 (2000), pp. 456-462.

(1460) B. Wangensteen [et al.], «Surface Elevation Change and High Resolution Surface Velocities for Advancing Outlets of Jostedalsbreen,» *Geografiska Annaler,* A 88 (2006), pp. 55-74.

(1461) A. N. Mackintosh, A. J. Dugmore and A. L. Hubbard, «Holocene Climate Changes in Iceland: Evidence from Modeling Glacier Length Fluctuation at Sohlheimajökull *Quaternary International,* vol. 91 (1997), pp. 39-52.

(1462) المصدر نفسه، ص 39 ـ 52.

ليست درجة الحرارة ولا الرطوبة ولا ديناميكيات الجليد فقط هي التي تحرك تراجع الجليد وتقدمه؛ ففي الألب الجنوبية في نيوزيلندا، فسر ركام وايهو لوب (Waiho Loop Moraine) ككتلة من بقايا متروكة من الجليد المتراجع، مما يدل على أن درياس الأصغر لم يحدث في نيوزيلندا[1463].

وقالت دراسات أخرى بوجود تقدم جليدي في نيوزيلندا خلال درياس الأصغر[1464]. وإن لمناطق جبلية إخفاقاً مفجعاً في الانحدار ينتج (انهيارات)[1465]. ويمكن لهذه الانهيارات أن تغلق وديااً وتحدث سدوداً، وتزيح المياه من البحيرات والسدود وتغطي صفائح الجليد[1466]. وقد أسيء تحديد منتجات الانهيارات واعتبرت كأنقاض خلفتها المجلدات في بعض المناطق[1467]؛ ففي عام 1991 انهار نحو 14 مليون متر مكعب من الصخور من مرتفع كوك (Cook)، وغطت مجلدات تاسمانيا (Tasman Glacier)، وحفزت تقدماً جليدياً سريعاً[1468]. لقد غطت انهيالات كبيرة في جبال ألب، في نيوزيلندا مجلد فرانس جوزيف وخفضت معدل ذوبان السطح، وعزلت الجليد، وحفزت التقدم الجليدي السريع وراكمت الصخور في مقدم المجلد[1469]. ولا يعني مجرد تقدم جليد سريع في واد ألبي أن المناخ يبرد.

وليست هناك دلائل على أن التراجع الجليدي كان أسرع في القرن العشرين عندما ازداد الـ CO_2 في الغلاف الجوي[1470]. ولا يفاجأ بعضنا بأن

(1463) T. T. Barrows [et al.], «Absence of Cooling in New Zealand and the Adjacent Ocean during the Younger Dryas Chronozone,» *Science*, vol. 318 (2007), pp. 86-89.

(1464) G. H. Denton and C. H. Hendy, «Younger Dryas Age Advance of Franz Josef Glacier in the Southern Alps of New Zealand,» *Science,* vol. 264 (1994), pp. 1434-1437.

(1465) K. Hewitt, «Catastrophic Landslide Deposits in the Karakoram Himalaya,» *Science*, vol. 242 (1988), pp. 64-67.

(1466) D. Jarman, «Large Rock Slope Failures in the Highlands of Scotland: Characterisation, Causes and Spatial Distribution,» *Engineering Geology*, vol. 83 (2006), pp. 161-182.

(1467) K. Hewitt, «Quaternary Moraines vs Catastrophic Rock Avalanches in the Karakoram Himalaya, Northern Pakistan,» *Quaternary Research*, vol. 51 (1999), pp. 220-237.

(1468) M. P. Kirkbride and D. E. Sugden, «New Zealand Loses its Top,» *Geographical Magazine* (July 1992), pp. 30-34.

(1469) D. S. Tovar [et al.], «Evidence for a Landslide Origin of New Zealand's Waiho Loop Moraine,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 524-526.

(1470) J. A. Dowdeswell [et al.], «The Mass Balance of Circum-Arctic Glaciers and Recent Climate Change,» *Quaternary Research*, vol. 48 (1997), pp. 1-14.

المجلدات قد تراجعت منذ العصر الجليدي الصغير، فقد حدثت تراجعات المجلدات القطب الشمالية أيضاً في احترار العصور الوسطى، وفي الأزمنة الأبرد للعصر الجليدي الصغير، وتقدمت المجلدات في أوائل القرن الخامس عشر، ومنتصف القرن السابع عشر، والنصف الأخير من القرن التاسع عشر[1471]. وإنه من الواضح أن التقدم والتراجع الجليدي المتبدل أمر طبيعي.

والقول إن المجلدات تذوب بسبب الاحترار الكوني الذي يحدثه الإنسان وانبعاثات الـ CO_2 أمر خاطئ. وحتى إذا تراجعت المجلدات، فإنها لا تتراجع بشكل نهائي وأبدي، وهي تتراجع لأسباب متنوعة. وقد نقلق نحن البشر بشأن المجلدات المتقلصة، والأمر الذي يقلق أكثر هو المجلدات المتسعة.

قال «ملخص لصانعي السياسة» لعام 2007 للـ IPCC: «لقد تناقصت مجلدات الجبال وقلنسوات الثلج وسطياً في نصفي الكرة الأرضية. وقد ساهمت التناقصات الواسعة في المجلدات وأغطية الجليد في ارتفاع مستوى سطح البحر». وليست هناك دلائل تدعم هذه المقولة، بل دلائل مناقضة فقط.

جليد البحر

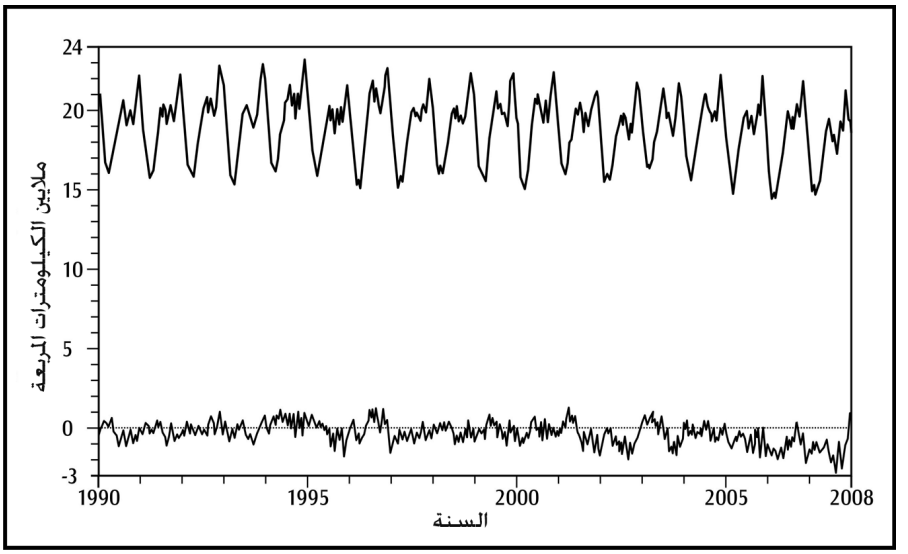
يغطي جليد البحر 7 في المئة من سطح الأرض. وإن لتوزيع الجليد البحر هذا وسماكته مؤشرات صريحة على درجة حرارة سطح البحر وتيارات المحيط. وهناك سجلات جيدة طويلة الأمد في القطب الشمالي عن جليد البحر بسبب نشاط الملاحة والصيد[1472]. وكان القطب الشمالي أدفأ من الآن بين عام 1920 وعام 1940. انعكس في جليد البحر والمناخ المحلي[1473]. وترتبط التغيرات في بحر القطب الشمالي مع تغيرات في درجة حرارة المياه التي تقاس باستعمال كيمياء الأكسجين في الأحفوري التي كانت حيوانات هائمة في بحيرة بيكل (Baikal) (سيبيريا) (Siberia)، أكبر بحيرة مياه عذبة في العالم[1474].

(1471) P. E. Calkin, G. C. Wiles, and D. J. Barclay, «Holocene Coastal Glaciations of Alaska,» *Quaternary Science Review*, vol. 20 (2001), pp. 449-461.

(1472) D. Dickson and S. Osterhus, «One Hundred Years in the Norwegian Sea,» *Norwegian Journal of Geography*, vol. 61 (2007), pp. 56-75.

(1473) R. E. Benestad [et al.], «Associations between Sea-Ice and the Local Climate on Svalbard,» *Norwegian Meteorological Institute Report,* 07/02 (2002), pp. 1-7.

(1474) A. W. Mackay, «The Paleoclimatology of Lake Baikal: A Diatom Synthesis and Prospectus,» *Earth Science Reviews*, vol. 82 (2007), pp. 181-215.



الشكل 29: منطقة من جليد البحر العالمي تظهر اختلافات جليد المحيط المتجمد الشمالي (الرسم الأدنى) وتغيرات دورية في المساحة الكلية لجليد بحر المحيط المتجمد الجنوبي (الرسم الأعلى). هناك تغير قليل، أو لا تغير متعلق باحترار أواخر القرن العشرين.

كانت مساحة جليد البحر في بحر غرينلاند في نيسان/ أبريل ـ وآب/ أغسطس بين عامي 1921 و1939 أقل بـ15 ـ 20 في المئة مما كانت عليه بين أعوام 1898 ـ 1920[1475]. وتمّت رؤية نموذج مشابه في بحر برنتس، بين 1920 و1930 مع جليد بحر أقل بـ12في المئة مما كان عليه بين أعوام 1898 و1920.[1476] لقد كان الجزء الجنوبي من بحر كارا (Kara Sea) منذ عام 1929، خالياً من الجليد في أيلول/ سبتمبر، بينما كان احتمال ذوبان الجليد هناك في أيلول/ سبتمبر بين أعوام 1869 ـ 1928، 30 في المئة[1477].

(1475) D. B. Karelin, «Pervaya vysokohirotnaya ekspeditsiya,» in: V.S. Lupach, Redaktor, *Russkie moreplavateli*, Voennoe izdatel'stvo Ministerstva oborony SSSR, 425-434 (Moskva, Voen: izd-vo, 1953), pp. 205-216.

(1476) من كتاب: W. Barr, *The First Soviet High-Latitude Expedition* (1984).
N. N. Zubov, Ekspeditsiya «Sadko». *Sovetskaya Artika*, vol. 1 (1936), pp. 28-50.

(1477) من كتاب: Barr, *The First Soviet High-Latitude Expedition*, pp. 205-216.
Vise V. Yu. 1946: Na «Sibiryakove» I «Litke» cherez ledovite moray. Izdatel'stvo Glavsevmorputi.

من كتاب: Barr, *The First Soviet High-Latitude Expedition*, p. 216.

اقترب الجليد القطبي في القرن التاسع عشركثيراً من أيسلاندا. ولم يكن هناك جليد بحر في المنطقة خلال 1915 ـ 1940، باستثناء 1929 عندما كانت كميات لا تذكر من الجليد القطبي ملاحظة. وسجلت رحلة فرام[1478] (Fram) (تشرين الثاني/ نوفمبر 1892 ـ آب/ أغسطس 1895) سماكة للجليد القطبي بلغت 655 سنتيمتراً (في 81 59 N 113 26 E) بينما وصلت درجات حرارة سطح البحر في رحلة سيدوف (Sedov) (تشرين الثاني/ نوفمبر1937 ـ آب/ أغسطس 1939) إلى 2.68 و1.8 درجة مئوية على التوالي. وكانت رحلة سيدكو (Sedco) إلى الشمال والشرق أكثر من فرام في المياه التي تكون عادة أبرد من المناطق التي أبحر فيها فرام، كما تؤكد ذلك رحلة الـ (RV Akademik Shokalsky) عام 1994[1479].

رغم أنه كان هناك مزيد من الجليد مضافاً من غرينلاند إلى البحر خلال احترار القطب الشمالي 1920 ـ 1940، فقد ذاب الجليد بسبب زيادة السرعة ودرجة حرارة النرويج وتيارات سبتسبرغن وزيادة في سرعة الرياح[1480]. وتحركت الأعاصير شمالاً خلال احترار القطب الشمالي 1920 ـ 1940، وتغيرت الرياح من الشرق البارد إلى رياح جنوب غربية أدفأ. وفي عام 1929 في غرب غرينلاند، لم يتصل أي جليد بحر بالبابسة، وكان الصيادون قادرين على استعمال زوارق كاياك خلال الشتاء كله[1481].

إن سجلات الشحن البحرية الروسية هي مؤشر جيد إلى كثافة جليد بحر المحيط المتجمد الشمالي. وأخفقت سفينة إرماك (Ermak) عام 1901 في العودة من نوفايا زمليا، ووقعت عام 1912 سانت أنا (St Anna) في حملة بروسيلوف في شرك الجليد بالقرب من يامال، وفي عام 1912 لم تتمكن سفينة فوكا (Foka) في حملة سيدوف (Seddor) بلوغ أرض فرانز ـ جوزيف. وخلافاً لذلك، تمكنت السفن غير الكاسرة للجليد من السير في طريق المحيط

(1478) F. Nansen, *Farthest North* (Westminster: Archibald Constable, 1897).

(1479) Joint Expedition «Investigation of Environmental Radioactivity in Waste Dumping Areas of the far Eastern Seas,» *Results from the first Japanese-Korean-Russian Joint Expedition* 1994, pp. 1-62.

(1480) B. J. Birkeland, «Temperaturvariationen auf Spitsbergen,» *Meteorologische Zeitscrift Juni* (1930), pp. 234-236.

(1481) O. Humlum, «Late-Holocene Climate in Central West Greenland: Meteorological Data and Rok-Glacier Isotope Evidence,» *The Holocene*, vol. 9 (1999), pp. 581-594.

المتجمد في احترار القطب الشمالي في الثلاثينيات، وتمكنت من الإبحار مرتين من نوفايا زملیا وإليها في كل صيف. وقد أبحر مركب سيبيرياك (Sibiryak) حول فرنايا زملیا (1932) وسفينة كنيوفتبش (Knipovich) حول أرض فرانز جوزيف (1932).

كانت مياه المحيط الأطلسي الداخلة إلى حوض القطب الشمالي أدفأ، وارتفع الحد الأدنى للطبقة المتوسطة الباردة بين 150 و200 متر (بداية القرن العشرين) إلى 75 ـ 100 متر في 1940 ـ 1945. وخلال الحرب العالمية الثانية، حثّ جليد البحر المنخفض في المحيط الأطلسي القيادة العليا البحرية الألمانية على خفر شرق بحر كارا التابع لنوفايا زملیا لاعتراض قوافل آتية من شمال أميركا إلى الجيش الأحمر[1482].

ولم يكن للبارجة الكبيرة أدميرال شير (Admiral Scheer) حماية جليدية لداسراتها المكشوفة، على الرغم من أنها تعمل باتجاه 100°E[1483][1484]. وقد أغرقت سفينة أكبر ومحمية حماية أفضل، هي ألكسندر سيبيرياكو في (Alexander Sibiryakow)[1485]. وتحولت سفينة ألمانية إلى مركبة مسلحة (كومت) (Komet) سارت في الطريق الشمالي من المحيط الأطلسي إلى المحيط الهادي في أوائل صيف 1940[1486]، وانزلقت (كومت) بهدوء من خلال مضيق بيرنيغ، الذي أحدث دماراً في المحيط الهادي. وإن هذا الطريق البحري مغلق اليوم بسبب جليد البحر.

يحدث ذوبان جليد البحر في النصف الشمالي للكرة الأرضية عندما تجلب تيارات المحيط مياهاً أدفأ من الجنوب. وعندما تحول غطاء غيوم الصيف في المنطقة 60°N إلى 90°N تحولاً جوهرياً في السنوات الأخيرة. وقد يكون

(1482) Chris Bellamy, *Absolute War: Soviet Russia in the Second World War* (New York: [Alfred A. Knopf], 2007).

(1483) W. Barr, «Operation «Wunderland»: Admiral Scheer in the Kara Sea, August 1942,» *Polar Record*, vol. 17 (1975), pp. 461-472.

(1484) J. Brennecke and T. Krancke, *Schwerer Kreuzer Admiral Scheer* (San Francisco, CA: Koehlers, 2001).

(1485) Patrick Beesly, *Very Special Intelligence: The Story of the Admiral's Operation Intelligence Centre 1939-1945* (Annapolis, MD: Naval Institute Press, 2006).

(1486) W. R. Hunt, *Arctic Passage: The Turbulent History of the Land and People of the Bering Sea, 1697-1975* (New York: Scribner, 1975).

للاهتزاز الجنوبي في المحيط الهادي أثر. وكان إيجابياً فقط في 13 من 48 شهراً من كانون الثاني/ يناير 2002 إلى كانون الأول/ ديسمبر 2005 وفي ثلاث من هذه المناسبات كان أقل من 1. وعلى الرغم من أننا ربما لم نكن في ظروف إل نينو، إلا أننا كنا نتجه في ذلك الاتجاه. وربما كان على أولئك الذين يدعون أن اصدارات الإنسان للـ CO_2 تحرك تغير المناخ أن يظهروا كيف أن الـ CO_2 حرّك هذه التغيرات، ولماذا حدث التغير في غطاء الغيوم منذ 1998 فقط.

يمكن للبطريق (Penguins) أن يكون ممثلاً جيداً لدرجة حرارة القطب الجنوبي. فالسجلات من أكثر من خمسين عاماً تبيّن أن بطريق أديلي (Adélie) وطائر النَّوْء البحري (Cape Petrals) وغيره من طيور شرق القطب الجنوبي المتوالدة تصل إلى مواضع العش الربيعية متأخرة تسعة أيام مما كانت عليه في خمسينيات القرن العشرين. وهذا متوافق مع الطول المتزايد لموسم جليد البحر[1487][1488]. وازداد جليد البحر بـ 8 في المئة بين عامي 1978 و2005. وكان هذا في وقت ادعي فيه أن الاحترار الكوني السريع مستمد من انبعاثات الإنسان للـ CO_2.

كاد رجل إنجليزي ساذج نوعاً ما ومتحمس أن يهلك عام 2008[1489]، وهو يحاول أن يجدف زورقاً جلدياً (كاياك) نحو القطب الشمالي لإلقاء الضوء على آثار الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان، وأمكنه أن يجدف فقط إلى 960 كيلومتراً من القطب. وفي عام 1893، كان نانسن (Nansen) قادراً على أن يجدف الكاياك (Kayak) مرة أخرى إلى 800 كيلومتر من القطب الشمالي. وكان التجديف البايثونسكي (Pythonesque) المثير للشفقة عام 2008 لإثبات أن الاحترار الكوني خفض مدى جليد البحر. وقد تبين خلاف ذلك تماماً.

كانت هناك اقتراحات تقول إن جليد المحيط المتجمد الجنوبي قد يتناقص بسبب تزايد درجة الحرارة الذي يسببه الإنسان الذي قد يرفع درجة حرارة سطح

(1487) C. Barbraud and H. Weimerskirsch, «Contrasting Effects of the Extent of Sea-Ice on the Breeding Performance of an Antarctic Top Predator, the Snow Petrel Pagodroma Nivea,» *Journal of Avian Biology*, vol. 32 (2001), pp. 297-302.

(1488) C. Barbraud and H. Weimerskirsch, «Emperor Penguins and Climate Change,» *Nature*, vol. 411 (2001b), pp. 183-186.

(1489) لويس غوردون بوف (Lewis Gordon Pugh).

البحر[1490]. وبمجرد ما تتناقص مساحة جليد البحر، سيكون هناك مزيد من الطاقة الشمسية الممتصة من المحيطات وقليل من طاقة شمسية منعكسة بفعل الجليد. وقد أدى هذا إلى اقتراح أن مساحات المناطق القطبية، وبخاصةً القطب الجنوبي، ستشهد التغير الأكبر من الاحترار الكوني[1491]. وكانت هذه الاقتراحات عن فقدان جليد المحيط المتجمد الجنوبي مخالفة لدراسات سابقة بيّنت أنه منذ زمن قياسات الأقمار الاصطناعية لجليد البحر، لم يكن هناك تغير في جليد المحيط المتجمد الجنوبي[1492][1493][1494][1495][1496]، وازداد مدى جليد المحيط المتجمد الجنوبي ومساحة المياه المفتوحة زيادة بارزةً خلال الفترة 1987 ـ 1996[1497].

هذا ويختلف جليد المحيط المتجمد الجنوبي خلال العام[1498] ويمكن أن تكون له علاقة بفهرس الاهتزاز الجنوبي الذي يظهر كأحد العوامل التي تحرك تغير المناخ في القطب الجنوبي[1499]. وقد تكون هذه بسبب تغيرات في تيارات المحيط أو أحداث إل نينو، ويمكن أن تكون التناقصات في الجليد في بحر ودل (Weddell) متعلقة بزيادة درجة الحرارة. ويجب ممارسة الحذر الشديد في

(1490) W. M. Washington and G. A. Meehl, «Climate Sensitivity Due to Increased CO_2: Experiments and a Coupled Atmosphere and Ocean General Circulation Model,» *Climate Dynamics*, vol. 4 (1989), pp. 1-38.

(1491) J. C. Fyfe, G. J. Boer and G. M. Flato, «The Arctic and Antarctic Oscillations and their Projected Changes under Global Warming,» *Geophysical Research Letters*, vol. 26 (1999), pp. 1601-1604.

(1492) C. L. Parkinson [et al.], *Arctic Sea Ice 1973-1976* (1987), NASA SP-489.

(1493) P. Gloersen and W. J. Campbell, «Recent Variations in Arctic and Antarctic Sea-Ice Covers,» *Nature*, vol. 352 (1988), pp. 33-36.

(1494) P. Gloersen [et al.], «Arctic and Antarctic Sea Ice, 1978-1987,» *Satellite Passive Microwave Observations and Analysis* (1992), NASA SP-511.

(1495) O. M. Johannessen [et al.], «Arctic Climate Change: Observed and Modeled Temperature and Sea-Ice Variability,» *Tellus*, A 56 (2004), pp. 328-341.

(1496) E. Bjorgo, O. M. Johannessen and M. W. Miles, «Analysis of Merged SSMR-SSMI Time Series of Arctic and Antarctic Sea Ice Parameters 1978-1995,» *Geophysical Research Letters*, vol. 24 (1997), pp. 413-416.

(1497) A. B. Watkins and I. Simmonds, «Current Trends in Antarctic Sea Ice: The 1990s Impact on a Short Climatology,» *Journal of Climate*, vol. 13 (2000), pp. 4441-4451.

(1498) I. Simmonds and T. H. Jacka, «Relationships between the Interannual Variability of Antarctic Sea Ice and the Southern Oscillation,» *Journal of Climate*, vol. 8 (1995), pp. 637-647.

(1499) S. R. Smith and C. R. Stearns, «Antarctic Climate Anomalies Surrounding the Minimum in the Southern Oscillation Index,» *Antarctic Research Series*, vol. 61 (1993), pp. 149-174.

استعمال ظروف جليد البحر كمؤشر لاتجاهات المناخ فإن ظروف محلية كثيرة قادرة على تغيير امتداد جليد البحر وسماكته.

ويجب توخي الحذر أكثر عندما تدعي المحاكاة الكمبيوترية أن هناك احتراراً كونياً يسبّبه الإنسان في القطبين[1500]. إننا لانزال بعيدين جداً عن فهم التغير الطبيعي.

N. P. Gillet [et al.], «Attribution of Polar Warming to Human Contribution,» *Nature* (1500) *Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 750-754.

الفصل السادس

المياه

سؤال: هل تحدث إصدارات الإنسان للـ CO_2 ارتفاعاً في مستوى سطح البحر؟

الجواب: لا.

سؤال: هل ستصبح البحار حمضية؟

الجواب: لا.

سؤال: هل يدمر ارتفاع مستوى سطح البحر الجزر المرجانية؟

الجواب: لا.

سؤال: هل يفرض الإنسان تغيرات في تيارات المحيط؟

الجواب: لا.

حدثت تغيرات في مستوى سطح البحر فوق 600 متر في الماضي. ويحدث ارتفاع مستوى سطح البحر تنوعاً بيولوجياً، ويُسرِّع انخفاض مستوى سطح البحر الانقراض. ويدمر انخفاض مستوى سطح البحر العروق المرجانية. ولا يرتفع مستوى سطح البحر وينخفض فقط، بل يرتفع أيضاً مستوى اليابسة وينخفض، ويتغير حجم أحواض المحيط وتتغير هذه الأحواض في الشكل والعمق، كما تغير الجاذبية مستوى سطح البحر.

تغرق بعض أجزاء العالم، (على سبيل المثال، شرق إنجلترا، وهولندا)، وغيرها ترتفع (على سبيل المثال، اسكندنافيا، واسكوتلندا)، وغيرها لا تتغير (على

سبيل المثال، شمال غرب ألاسكا). وهذه التغيرات المجتمعة للبحر، واليابسة وأحواض المحيط تجعل القياسات الدقيقة لتغير مستوى سطح البحر صعبة جداً.

كان هناك متوسط في ارتفاع مستوى سطح البحر منذ التجلد الأخير، بمقدار سنتيمتر واحد في العام. وانخفض مستوى سطح البحر وارتفع خلال هذا الزمن بمعدلات أعلى من سنتمترين في العام، وإن هذا المعدل في تغير مستوى سطح البحر أعلى بكثير من معظم توقعات IPCC المفجعة. ولم يدمر ارتفاع مستوى سطح البحر خلال الـ 14000 عام الماضية منذ التجلد الأخير الحيود أو الجزر المرجانية. وكان لارتفاع مستوى سطح البحر ما بعد الجليدي أثر في خلاف ذلك؛ فلقد حفز نمو المرجان. وإن الجزر المرجانية تغرق بسبب الغمر، وليس بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر.

إن مستويات البحر ترتفع منذ انتهاء التجلد الأخير ووصوله إلى ذروته قبل 6000 عام. ولم يكن هناك تسارع ملاحظ لارتفاع مستوى سطح البحر، على الرغم من فترة التصنيع.

تخزن المحيطات مقداراً كبيراً من الـ CO_2 المذاب، ويتعلق مقدار من الـ CO_2 في الهواء بدرجة حرارة سطح البحر الكونية. ويضاف مقدار كبير ليس معروفاً من الـ CO_2 إلى مياه المحيط من براكين بحرية. ويجري الـ CO_2 المذاب في مياه المحيط، ويدور من خلال الغلاف الجوي والحياة والتربة والصخور. وتزيل المحيطات باستمرار الـ CO_2 المذاب بتكون الأصداف، وتكوّن حجر الجير وبتفاعلات كيميائية مع الصخور والترسبات. وكلما ذاب مزيد من الـ CO_2 في المحيطات، يزال مزيد منه، وتحرك المياه دورة الكربون.

إذا أحرق الإنسان جميع الوقود الأحفوري على الأرض، فإن محتوى الـ CO_2 الجوي لن يتضاعف. وإن تغيراً قليلاً في أي من الأنظمة الطبيعية سيستهلك الـ CO_2 المضاف في الغلاف الجوي بفعل الإنسان.

كانت المحيطات مالحة وقلوية منذ بداية الزمن، حتى عندما كانت درجة الحرارة أعلى وكان الـ CO_2 الجوي أكثر بـ 25 مرة على الأقل من قيمته اليوم. وهذا لأن الصخور على الأرض تتفاعل كيميائياً مع الهواء والمياه والكائنات المجهرية، لتشكيل التربة، ولأن صخور البراكين البحرية والترسبات تتفاعل كيميائياً مع مياه البحر. وعندما تنفد الصخور، تصبح المحيطات حمضية.

إن أكثر من 70 في المئة من سطح الأرض ماء، والتبخر هو المنظم الطبيعي للمناخ العالمي. ويتزايد التبخر وتبادل الحرارة الكامنة بين المحيط والغلاف الجوي تزايداً أسياً مع درجة حرارة سطح المياه. إن التبادل المتزايد في طاقة الحرارة الكامنة لارتفاع قليل جداً في درجة الحرارة (0.3) أكثر من الكفاية لبداية تضاعف من الـ CO_2 الجوي.

لم تكن هناك «نقاط» أرجحية لقمة في الماضي عندما كانت درجة الحرارة والـ CO_2 الجوي أعلى بكثير من الآن، لأن لكل الأنظمة التي تشمل الـ CO_2 منظمات طبيعية عليا وسفلى.

تنقل تيارات المحيطات كميات كبيرة من الحرارة. وتحركها الرياح، والرياح تتحرك بدوران الأرض. ويمكن لتغيرات في شكل الشاطئ، والأرض وقاع المحيط أن تغير التيارات. وتبين التيارات القاعية الباردة الكثيفة للمحيط أن الأرض أبرد بكثير من الأزمنة الماضية. وكان هناك جليد في الكوكب فقط لـ 20 في المئة من الزمن، وكان كوكب الأرض في معظم الأزمنة كوكب بيوت زجاجية رطباً ودافئاً.

إن أصل «إل نينو» مفهوم فهماً ضعيفاً. رغم أن أحداث إل نينو هي أحد أعظم وسائل انتقال لطاقة السطح على الأرض، لا يمكن توقعها بنماذج الكمبيوتر، وإن أحداث إل نينو ليست محللة إلى نماذج من مناخ المستقبل.

إن المحيطات والغلاف الجوي أنظمة مشوشة غير خطية ومضطربة من الأسفل إلى الأعلى. ونحاول أن نفهم أنظمةً كهذه مع نماذج وبرامج كمبيوتر غير مكتملة.

إن الطبيعة لا تلعب ألعاباً كمبيوترية.

المياه العجيبة

إن الماء، كما رأينا، مادة عجيبة[1501]، فعندما تكون ذراته غير متماسكة

(1501) إن للماء أعلى سعة حرارية بين جميع السوائل والجوامد (ما عدا NH_3) الذي يمنع المدى الأقصى في درجة الحرارة ويسمح للانتقال الحراري الكبير بتحرك الماء، وإن للانصهار الكامن الأعلى (ما عدا NH_3) يسمح للأثر الثرموستاتي للتجمد، والتبخر الكامن الأعلى (يسمح بانتقال الحرارة والماء في الغلاف الجوي)، وتتناقص ذروة الكثافة مع الملوحة المتزايدة (تتحكم بتوزيع درجة الحرارة في المحيطات والدوران العمودي في البحيرات)، وأعلى توتر للسطح من بين جميع السوائل (ما عدا Hg) (مهم =

مع بعضها بعضاً بروابط الهيدروجين، فسوف تغلي عند درجة حرارة ـ 30 (ثلاثين درجة مئوية تحت الصفر). ويجب لجليد الماء أن يكون أكثف من المياه السائلة ولكنه يطفو فوقها، وإذا لم يكن طافياً، فإن البحيرات، والبحار والمحيطات ستتجمد من أعلاها. وسيمنع هذا من ذوبان الجليد وسينتج جليداً دائماً على الأرض، وسيعكس الجليد الإشعاع، ولن يكون كوكب الأرض قادراً على الهروب من كونه كرة ثلج.

يلزم كثير من الحرارة لكسر حزيئات الجليد في درجة حرارة صفر مئوية لتشكيل الماء عند هذه الدرجة[1502]. كما نحتاج إلى مزيد من الحرارة لكسر جزيئات الماء عند درجة حرارة الـ 100 مئوية[1503]. ونحتاج إلى مزيد من الحرارة لتدفئة الماء، وبمجرد ما تدفأ، نحتاج إلى وقت طويل لابترادها[1504]. ويتحكم تبخر المياه وتكثيفه بالحد الأعلى لدرجة حرارة الهواء. وتمنع هذه الخواص العجيبة حدوث احترار سريع أو تجمد دائم للأرض. وإذا لم يكن الماء مادة عجيبة، فلن تكون هناك حرارة في الغلاف الجوي والمحيطات، ولكانت درجة حرارة الهواء ـ 18 درجة مئوية تحت الصفر.

يلزم لارتفاع درجة مئوية واحدة في حرارة سطح البحر ذوبان 7 في المئة من الماء في الهواء[1505]. ويبين سجل 99 عاماً للترسبات الساعيّة (Hourly) في هولندا أنه عندما تكون درجة الحرارة أعلى من 12 درجة مئوية، يتزايد الترسب بمعدل 14 في المئة لارتفاع درجة[1506] مئوية واحدة. ويخفف التبخر والمطر درجة الحرارة على الأرض لأن كليهما يشمل تبادلاً للحرارة.

= لفيزيولوجية الخلية)، يفكك مزيد من المواد وضمن كميات أكبر من أي سائل آخر، (مهم لتغذية الخلية)، وله أعلى ثابت عازل للكهرباء من بين جميع السوائل (يسمح بتغذية الخلية)، وله تفكك الكتروليتي صغير جداً، وشفافية عالية جداً (يسمح بحياة التركيب الضوئي لأن تعيش في مياه أعمق)، وله أعلى توصيل حراري من بين جميع السوائل وله تكثيف كبير للجزيئات للأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية (مسؤول على الأقل عن 75 في المئة من أثر البيوت الزجاجية).

(1502) حرارة كامنة لانصهار الجليد 33355J/g (79.72 cal/g).

(1503) حرارة كامنة لتبخر الماء (عند درجة حرارة صفر مئوية) 2500 J.g (598 cal/g) و(عند درجة حرارة 100 مئوية) 2260 J/cal (539 cal/g).

(1504) حرارات محددة (cal/g°C) للماء 1.00، للجليد 0.50، للبخار 0.47، والخشب بالمقابل 0.12 والذهب 0.03.

(1505) علاقة كلاوسيوس-كلابيون.

(1506) G. Lenderink and E. van Meijgaard, «Increase in Hourly Precipitation Extremes beyond Expectations from Temperature Changes,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 511-514.

إن محيطات العالم ديناميكية. فهي تحمل حرارة، وتحوي CO_2 مذاب، وهي غنية بكائنات صغيرة قادرة على التمثيل الضوئي، وعائمة تزيل الـ CO_2 من الغلاف الجوي والماء، كما تزيل الكائنات العائمة في المحيطات كربونات الكالسيوم لبناء الأصداف.

تتراكم الأصداف كترسبات أحفورية وأحجار جيرية. وتزيل التفاعلات الكيميائية بين مياه البحر والصخور تحت المياه الـ CO_2 من المحيطات. وهذا هو سبب بقاء المحيطات قلوية. ولقد تغيرت كيمياء المحيط قليلاً خلال الزمن[1507][1508]. وتعطي سجلات الأحفوري معلومات عن الحيود البحرية المرجانية، واستعمال الأصداف للـ CO_2، ودرجات الحرارة السابقة، ومستويات البحر. وقد ارتفع مستوى سطح البحر وانخفض مرات عدة عبر تاريخ كوكب الأرض، وسبب هذه التغيرات هو تنوع العمليات المتنافسة.

إن المحيطات كتل معقدة رباعية الأبعاد (خطوط العرض، وخطوط الطول، والعمق، والزمن) تبين اتجاهات درجة حرارة لعقود متعددة. وقد سجل مؤخراً احترار، خفيف في 37 في المئة من العيّنات المأخوذة في الخمسين متراً العليا من بعض المحيطات، على الرغم من أن محيطات النصف الجنوبي للكرة الأرضية مأخوذة عيناتها بطريقة ضعيفة[1509]. (ربما بسبب تنوع عمليات الاعتيان)، وإن اتجاهات الاحترار والابتراد مسجلة خلال الـ 50 عاماً الماضية[1510].

يتغير مستوى سطح البحر باستمرار، كما يتغير مستوى اليابسة دائماً ولكن ضمن معدلات متغايرة واتجاهات متقابلة متزامنة في مناطق مختلفة. وارتفع مستوى سطح البحر أو انخفض في الماضي 600 متراً، وارتفع مستوى اليابسة وانخفض بما مقداره 10000 متر. وقبل 6000 عام فقط كان مستوى سطح البحر أعلى بمترين من اليوم. وارتفع مستوى سطح البحر وانخفض خلال التجلد

(1507) J. Veizer [et al.], «$^{87}Sr/^{86}Sr$, $\partial^{13}C$ and $\partial^{18}O$ Evolution of Phanerozoic Seawater,» *Chemical Geology*, vol. 161 (1999), pp. 59-68.

(1508) J. F. Kasting [et al.], «Paleoclimates, Ocean Depth, and the Oxygen Isotopic Composition of Seawater,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 252 (2006), pp. 82-93.

(1509) D. E. Harrison and M. Carson, «Is the Upper Ocean Warming? A Data Analysis Approach,» *EOS Trans*, vol. 87 (2006), p. 52.

(1510) D. E. Harrison and M. Carson, «Is the World Ocean Warming? Upper Ocean Temperature Trends, 1950-2000,» *Journal of Physical Oceanography,* vol. 37 (2006), pp. 174-187.

الأخير 130 متراً كل 100000 عام. وكانت بعض تغيرات مستوى سطح البحر الماضية سريعة جداً، وكان بعضها بطيئاً[1511].

لقد تغير مستوى سطح البحر العالمي خلال الزمن الجيولوجي[1512]. ويتعلق تغير مستوى سطح البحر بوجود قلنسوات الجليد أو بغيابها، وبشكل القارات، وشكل قاع البحر ودرجة حرارة المحيطات. وكانت بعض التغيرات دراماتيكية، مثل انخفاض مستوى سطح البحر المتعلق بالتوسع الأولي لصفيحة جليد القطب الجنوبي قبل 37 مليون سنة[1513].

هناك خوف في عمق النفس البشرية من ارتفاع مستوى سطح البحر السريع. وقد يستمد هذا من قصة طوفان نوح. وقد يستمد أيضاً من التدمير المنتظم لسكان السواحل. فلماذا لم تنشأ الحضارات العظمى في الماضي في أماكن أكثر صفاءً حول السواحل؟ وقد أنتجت اصطدامات الكويكبات المتقطعة في أحواض المحيطات، وانفجارات البراكين، وسقوط الترسبات من الرف القاري، والزلازل وانهيار البراكين في المحيط، مجموعة من التسونامي (Tsunamis). وبلغ علو بعض هذه التسونامي مئات الأمتار. وكان التسونامي المفجع الذي حدث في الـ 26 من كانون الأول/ ديسمبر 2004 وقتل 250000 شخص على الأقل في آسيا، صغيراً نسبياً.

الطوفان الكبير

انتقل سكان هضبة الأناضول العالية إلى مرتفع أدنى خلال فترة باردة جداً قبل 8500 إلى 8000 عام ماضية[1514]. هُجِرَت المرتفعات الأناضولية وانتقل سكانها إلى منخفض مساحته 160,000 كيلومتر مربع ذي مناخ أدفأ وأكثر رطوبة. ويحتل هذا المنخفض الآن البحر الأسود. وقد أصبح هذا المنخفض المحمي بأنهر مياه ذائبة (الدون والدنيبر، والدانوب) وبحيرتين عذبتي المياه وسهول خصبة، سلّة خبز العالم القديم.

(1511) N. J. Shakelton [et al.], «The Oxygen Isotope Stratigraphic Record of the Late Pleistocene,» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, vol. 280 (1977), pp. 169-182.

(1512) K. G. Miller [et al.], «The Phanerozoic Record of Global Sea-Level Change,» *Science*, vol. 310 (2005), pp. 1293-1298.

(1513) A. E. Shevenell, J. P. Kennett and D. W. Lea, «Middle Miocene Southern Ocean Cooling and Antarctic Cryosphere Expansion,» *Science*, vol. 305 (2004), pp. 1766-1770.

(1514) Ian Wilson, *Before the Flood* (London: Orion, 2001).

إن نحو 25 في المئة من قاع البحر الأسود الحديث منبسط ينخفض بأقل من 100 متر تحت سطح البحر. خلال التجلد الأخير استنزف نهر «ساكاريا» المنخفض إلى البحر المتوسط عبر خليج إزميت وبحر مرمرة مما أبقى بحر مرمرة خارج الحوض. غير أن ارتفاع مستوى سطح البحر ما بعد الجليدي يعني أن بحر مرمرة كان أعلى بـ 100 متر من قاع حوض البحر الأسود. ولم يكن هناك بوسفور في ذلك الزمن، وإنما واد منخفض فحسب مع بروز صخور في المياه الرئيسية حمت المنخفض من الغرق في بحر مرمرة.

غير أن المنطقة تقع على حدود صفيحي تكتوكي، حيث تتصادم صفيحتا أفريقيا مع أوروبا، ويتحرك فالق شمال الأناضول بانتظام. لقد سبب التحرك الأخير في 17 آب/أغسطس عام 1999 عشرين ألف ضحية. ونتج من التحرك على طول شمال الفالق الأناضولي قبل 7600 عام كسر في الصخور وجريان للماء في الأسفل من بحر مرمرة حتى حوض البحر الأسود. وقطع هذا البوسفور وملأ الحوض لتشكيل البحر الأسود. ولم تتطلب عملية تشكيل البحر الأسود أكثر من عامين. تدفقت مياه البحر في المنخفض بقوة تعادل 200 مرة قوة شلالات نياغارا، وارتفع مستوى سطح البحر بمعدل 15 سنتيمتراً باليوم، وتقدم الساحل عدة كيلومترات في اليوم[1515].

تركدت الترسبات البحرية من المياه المضطربة على تربة خصبة، وملأت المياه المالحة الكثيفة أسفل البحر الأسود، فأزاحت المياه العذبة إلى السطح، وأصبحت المياه العميقة للبحر الأسود فقيرة بالأكسجين. وكان هذا من حسن الحظ إذ سمح بالحفاظ على بنى القرى الخشبية التي بنيت على ساحل بحيرات المياه العذبة السابقة.

لا بد أن هذا كان حدثاً مروعاً. فقد هلك الناس والدواب، وتشتت السكان، وحمل من بقي على قيد الحياة لغته وثقافته ومعرفته بالزراعة والحيوانات والحرف وعلم المعادن. وليس مفاجئاً أن تكون لثقافات كثيرة أساطير عن فيضان كبير؛ فلقد ارتفع مستوى سطح البحر ما بعد الجليدي 130 متراً خلال الـ 14000 سنة، والفيضانات والأحداث المفجعة مثل غرق حوض

(1515) W. Ryan and W. Pitman, *Noah's Flood, the New Scientific Discoveries about the Event that Changed History* (New York: Simon and Schuster, 1998).

البحر الأسود تناقلتها الألسن كقصص، بينما لم تنتقل الأحداث اليومية هكذا.

تبيّن ثقوب اللب من حيود بحرية مرجانية في الفترة نفسها أن الفيضان الكبير الذي شكّل البحر الأسود لم يكن حدثاً عالمياً[1516][1517]. وانتقلت المحاولات لتفسير فيضان البحر الأسود من جيل إلى جيل. وبرزت هذه كقصص منتقلة لغوياً وثقافياً. وظهرت كذلك كقصة سومرية متقطعة كتبت بعد نحو ألفي سنة إلى حوالى عام 3400 قبل الميلاد، وأسطورة أتراحاسيس (Athrahasis) في بلاد ما بين النهرين، وقصة أت ـ نابشتيم Ut- napishtim في ملحمة جلجامش، وقصص ديوكاليون وبيرها (Deucalion and Pyrrha) اليونانية، وقصة دردانوس (Dardanus)، وقصة نوح والفيضان الكبير التوراتية.

كانت هذه التغيرات الجيومائية لما اعتبر عالماً ساكناً، سريعةً جداً، ولا يمكن فهمها حيث تم تفسير الفيضان الكبير الذي شكّل البحر الأسود كعمل إلهي عندما أغرق الله العالم المعروف حتى يخلصه من الشر. كذلك هو الحال في العالم الحديث، الذي يفسره كثيرون على أنه ساكن. ويُرى التغير الأقل في الطبيعة كرسالة بأننا نحن البشر نغير المناخ، وأن هذا شر ويجب أن نخلص العالم من هذا الشر. وكثيرون لا يفهمون أن الطبيعة تستطيع أن تغير الكوكب أو أن البشر فقاريات أرضية قصيرة العمر غير مهمة تعيش على كوكب تكون فيه القوى الطبيعية طبقات كثيرة حجمها أكبر من أي قوة بشرية. وإن مقدار التغيرات الحديثة المقاسة في درجة الحرارة ومستوى سطح البحر أبطأ بكثير من العمليات ما بعد الجليدية. وهذا لا يتوافق مع معتقدات كثير من الناس الذين يدعون أن الإنسان يحرك الاحترار الكوني وارتفاع مستوى سطح البحر.

مستوى سطح البحر

لقد سجلت الأرض الديناميكية وتغير المناخ ومرتفعات مستوى سطح البحر وانخفاضاته تسجيلاً جيداً في الكتابات الجيولوجية منذ زمن هوتون (Hutton) في

(1516) R. G. Lighty, I. G. Macintyre and R. Stuckenrath, «Acropora Palmate Reef Framework: A Reliable Indicator of Sea Level in the Western Atlantic for the Past 10,000 Years,» *Coral Reefs,* vol. 1 (1982), pp. 125-130.

(1517) K. R. Ludwig [et al.], «Sea-level Records at Approximately 80 ka from Tectonically Stable Platforms; Florida and Bermuda,» *Geology*, vol. 24 (1996), pp. 211-224.

أواخر القرن الثامن عشر[1518]. وتم قياس مرتفعات وانخفاضات كثيرة لمستوى سطح البحر منذ الفترة ما بين الجليدي الأخير قبل 116000 عام[1519]. وتغيرت الأرض باستمرار، وأصبح الجمهور، الآن فقط، يعي أن هناك تغيرات ثابتة في درجة الحرارة وفي مستوى سطح البحر والحياة على الأرض. والأرض ليست ساكنةً أبداً، فهي تتطور وتتغير باستمرار. ولا تعني هذه الدينامية بالضرورة أن البشر يحركون التغيرات. هذا وتحفر في أستراليا ترسبات رملية معدنية في شواطئ قديمة 150 متراً فوق المستوى الحديث للبحر، على بعد 500 كيلومتر من الساحل (على سبيل المثال، غنكو، وبونكاريه). ويبين هذا أن ارتفاع مستوى سطح البحر واليابسة الواسعة وانخفاضها حدث في الماضي القريب. ومثال آخر هو الشقوق المرجانية المرتفعة في شبه جزيرة هون (Huon Peninsula) في بابوا غينيا الجديدة[1520]، وهذه التغيرات لا تتعلق بأي نشاط بشري.

يحدث ارتفاع مستوى سطح البحر بيئات مائية ضحلة جديدة وكثيرة[1521]. ويبيّن السجل الجيولوجي أن هناك تنوعاً بيولوجياً متزايداً عندما يكون هناك ارتفاع في مستوى سطح البحر. وإذا انخفض مستوى سطح البحر، نتج انقراض متزايد للحياة. وانخفض مستوى البحار كثيراً في العصر الجليدي النيوبروتيروزوكي حتى لم يعد هناك رف قاري[1522]. وكان تغير مستوى سطح البحر في هذا التجلد 12 ضعفاً على الأقل قياساً بتغير مستوى البحار في العصر الجليدي الأخير. وانخفض مستوى سطح البحر 1500 متر بسبب قبض الماء فغرقت صفائح جليدية قارية كبيرة وغرقت قارات تحت حمل كيلومترات من الجليد. وهكذا يدفع تغير تغيراً آخر. لقد رفع الارتفاع النسبي للمناطق الساحلية صفيحة جليد رقيقة من مستوى

(1518) C. E. P. Brooks, *Climate through the Ages* (R.V. Coleman, 1926).

(1519) W. Dansgaard and H. Oeschger, «Past Environmental Long-Term Records from the Arctic,» in: *The Environmental Record in Glaciers and Ice Sheets*, edited by H. Oeschger and C. C. Langway (London: Wiley, 1989), pp. 287-318.

(1520) J. Chappell, «Geology of Coral Terraces, Huon Peninsula, New Guinea: A Study of Quaternary Tectonic Movements and Sea-Level Changes,» *Bulletin of the Geological Society of America,* vol. 85 (1974), pp. 553-570.

(1521) R. V. Solé and M. Newman, «Extinctions and Biodiversity in the Fossil Record,» in: H. A. Mooney and J. G. Canadell, eds., *The Earth System: Biological and Ecological Dimensions of Global Environmental Change* (London: John Wiley, 2002), pp. 297-301.

(1522) N. Christie-Blick, I. A. Dyson and C. C. von der Borch, «Sequence Stratigraphy and the Interpretation of Neoproterozoic Earth History,» *Precambrian Research,* vol. 73 (1995), pp. 3-26.

سطح البحر، وسمح نقص الوزن في قاع البحر بارتفاع مستوى سطح البحر، ورفع السحب الجاذبي لصفائح جليدية كبيرة مستوى سطح البحر نحو 100 متر.

وينتج من الشد الجاذبي للجبال بالقرب من البحر (على سبيل المثال، الآنديز) وصفائح الجليد الكبيرة، حتى هذا اليوم، ارتفاع محلي في مستوى سطح البحر. وسبّب تغير مستوى سطح البحر الكلي المتصل بالتجلد النيوبروتيروزوكي انخفاضاً مقداره نحو 650 متراً. وحدث تغير مفاجئ من التجلد إلى ظروف دافئة خلال بضعة قرون. ربما كانت البحار حمضية بعض الشيء، وقد كُسيت الصخور الجليدية بصخور كربونية تشكلت خلال بضعة آلاف عام في مياه ضحلة عند درجة حرارة 40 درجة مئوية على الأقل[1523]. وفي ذلك الوقت، كان الـ CO_2 الجوي أكثر 10 في المئة ووصل إلى 35 في المئة مقارنة بـ 0.0385 في المئة اليوم. ولقد كانت المحيطات قلوية خلال تشكل الصخور الكربونية.

إن تغير مستوى سطح البحار العالمية الحديث صعب التحديد. وكانت مواقع القياسات الأبكر تقاس بواسطة أعواد ملتصقة بالأرصفة البحرية. وفي منتصف القرن التاسع عشر وضعت مقاييس مد وجزر تستعمل طوافات في منابع ساكنة، وقد درئت هذه من آثار الأمواج. وتستعمل المقاييس الحديثة رجع الصدى (Echo Sounding) ونقل البيانات بالأقمار الاصطناعية للقياس في آن معاً. كانت هناك حاجة للحفاظ على مقاييس المد والجزر خلال فترات منذ قرن أو أكثر، وإصلاحها، ونقلها، وتجديدها، مثل الدعامات. وهذا لا يحدث عادة.

ويقاس مستوى البحار بمقاييس المد والجزر من شبكة متفرقة من محطات ساحلية، يكون كثير منها في أماكن غير مستقرة جيولوجياً. وتعطي قياسات الأقمار الاصطناعية الدقيقة ارتفاع مستوى سطح البحر نصف ذلك المقاس من محطات المد والجزر[1524]. وتبيّن بيانات مصححة لجزء كبير من العالم ارتفاعاً مقداره 1.8 ملليمتر في العام منذ عام 1900 إلى عام 1980[1525] ويتوافق ذلك مع

(1523) P. F. Hoffman and D. P. Schrag, «The Snowball Earth Hypothesis: Testing the Limits of Global Change,» *Terra Nova*, vol. 14 (2002), pp. 129-155.

(1524) C. Cabanes, A. Cazenave and C. Le Provost, «Sea Level Rise during the Past 40 Years Determined from Satellite and in Situ Observations,» *Science,* vol. 294 (2001), pp. 840-842.

(1525) A. Trupin and J. Wahr, «Spectroscopic Analysis of Global Tide Gauge Sea Level Data,» *Geophysical Journal International*, vol. 100 (1990), pp. 441-453.

قياسات من مرجانيات وغيرها من المسببات خلال السنين الـ 3000 الماضية. ولا تبيّن سجلات تاريخية أي تسارع في ارتفاع مستوى سطح البحر في القرن العشرين[1526]. وقد توقف ارتفاع مستوى سطح البحر خلال الاحترار من عام 1920 إلى عام 1940[1527].

إن التحديد الدقيق لتغير مستوى سطح البحر من مقاييس المد والجزر مليء بالصعوبة. وتغرق كثير من الدعامات ببطء فتجعل الموقع الجغرافي لأعواد المد والجزر كمقياس ثابت لا يعتمد عليه. على سبيل المثال، كانت محطة قياس المد والجزر تغرق في مرفأ أديلاييد (Adelaide) (أستراليا)، وتسجل بالتالي ارتفاعاً في مستوى سطح البحر[1528].

تحتاج مقاييس المد والجزر إلى اتساق في القياس خلال فترة طويلة من خلال إجراء مسح شديد الدقة ومنتظم لموقع المقياس، بالإضافة إلى المعايرة المستمرة للمقياس. وهذا لا يحدث عادةً. إضافةً إلى ذلك، تقوم مقاييس المد والجزر فقط بقياسات محلية. وفي مناطق تكتونية كثيرة غير مستقرة من العالم، وغالباً تكون قريبة جداً من بعضها بعضاً، ارتفعت اليابسة (على سبيل المثال، إفسوس (Ephesus) وطروادة، تركيا)[1529] أو انخفضت في نفس الوقت (على سبيل المثال، ليديا، تركيا)[1530]. وفي الأزمنة البابلية[1531]، كانت إفيسوس مرفأ ساحلياً. وسجل سترابو أن ملك برغاما أتالوس فيلادلفوس (King Attalus Philadelphus) بنى حائلاً للأمواج لحماية إفيسيوس، وقد دمّر الطمي مقروناً بارتفاع اليابسة المرفأ[1532].

(1526) P. C. Douglas, «Global Sea Level Acceleration,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 97 (1992), pp. 12699-12706.

(1527) S. F. Singer, *Hot Talk, Cold Science. Global Warming's Unfinished Debate* (Oakland, CA: The Independent Institute, 1997).

(1528) A. P. Belperio, «Land Subsidence and Sea Level Rise in the Port Adelaide Estuary: Implications for Monitoring the Greenhouse Effect,» *Australian Journal of Earth Siences*, vol. 40 (1993), pp. 359-368.

(1529) J. C. Kraft, S. E. Aschenbrenner and G. Rapp, «Paleogeographic Reconstructions of Coastal Aegean Archaeological Sites,» *Science*, vol. 195 (1978), pp. 941-947.

(1530) P. I. Kuniholm, «Archaeological Record: Evidence and Non-Evidence for Climate Change,» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A330 (1990), pp. 645-655.

(1531) *Acts*, 19:1-7.

(1532) J. Murphy-O'Connor, *St. Paul's Ephesus: Texts and Archaeology* (Collegeville, MN: Liturgical Press, 2008).

وحاول الرومان إعادة بناء المرفأ وأخفقوا. ويقع إفيسوس الآن على بعد 24 كيلومتراً داخل اليابسة، وخمسة أمتار فوق مستوى سطح البحر. وليديا، مكان سك العملة، أخفض من مستوى سطح البحر بأمتار الآن. وتؤثر صفائح التكتونيات، وارتداد اليابسة بعد التحميل (مع الجليد، والتربة، والترسبات، والمياه)، والبراكين، ودمج الترسبات واقتلاع السوائل في قياسات معايير المدر والجزر. كما أن التحرك العمودي لليابسة يتغير أيضاً. ومثال آخر على عدم الاستقرار التكتوني هو مجموعة جزر فانوابآلافو (Vanuabalavu) شمال شرق فيجي (Figi)، حيث غرقت بعض الجزر الفردية، بينما ارتفعت مجموعة الجزر كلها[1533].

تحدث تغيرات مستوى البحار نتيجة للقوى المتنافسة. وعندما كان معظم النصف الشمالي للكرة الأرضية ضمن 50 درجة شمالاً مغطى بالجليد خلال التجلد الأخير قبل 116000 إلى 14000 عام ماضية، غرقت مجموعات من اليابسة تحت ثقل الجليد. وارتفعت اليابسة بعد أن ذاب الجليد الآن. وإن طبيعة الصخور بلاستيكية بعض الشيء، وإذا طبقت قوة تحميل أو تفريغ للجليد خلال الزمن فإنها تشد. وإذا طبقت قوة فجأةً، فإنها تنكسر. وتحدث الزلازل والارتجافات الأرضية عندما تنكسر الصخور، وإن للمناطق التي كانت مغطاة بالجليد خلال التجلد الأخير ارتجافات أرضية مشتركة. أما الآن، فإن الأراضي المتقابلة ترتفع (على سبيل المثال، اسكندنافيا، واسكوتلندا، وكندا) وتغرق في آن معاً (على سبيل المثال، هولندا، وشمال غرب الدانمارك، وجنوب شرق إنجلترا)، كما إن قاع بحر الشمال يغرق أيضاً. ويعني هذا التوازن في ارتفاع مستوى اليابسة وارتفاع مستوى البحار ما بعد الجليدي أن تغير مستوى سطح البحر نسبياً قد يكون صغيراً.

إن مثال ارتفاع اليابسة ما بعد الجليدي في اسكندنافيا معروف جيداً[1534][1535]. ولقد بني قصر توركو (Turku) في القرن الثاني عشر في فنلندا[1536] على جزيرة، وهو متصل الآن بالبر الرئيسي كنتيجة لارتفاع مستوى

(1533) P. D. Nunn [et al.], «Late Quaternary Sea-Level and Tectonic Changes in Northeast Fiji,» *Marine Geology*, vol. 187 (2002), pp. 299-311.

(1534) K. Lambeck and J. Chappell, «Sea Level Change through the Last Glacial Cycle,» *Science*, vol. 292 (2001), pp. 679-686.

(1535) L. B. Clemmensen and C. Andersen, «Late Holocene Deflation of Beach Deposits, Skagen Odde, Denmark,» *Geological Society of Denmark Bulletin*, vol. 44 (1998), pp. 187-188.

(1536) H. Frost, «Some Out-of-the-Way European Maritime Museums and Developments,» *The International Journal of Nautical Archaeology*, vol. 4 (2007), pp. 143-13.

اليابسة ما بعد الجليدي. وإن مقاييس المد والجزر في مرفأ توركو يرشد إلى ارتفاع محلي، وليس لتغير في مستوى سطح البحر. ولم تعد ستوكهولم جزيرة، وإنها ترتفع بمعدل سنتيمتر واحد في العام. وينتج من الارتفاع ما بعد الجليدي في اسكندنافيا هبوط هولندا، والدنمارك وشمال غرب ألمانيا. فهل هذه قضية يتوجب رفعها إلى محمكة دولية؟

تقدم البراهين في المراجع العلمية بأنه وكنتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر، فإن الوزن الإضافي لماء البحر يسبّب ارتفاعاً في الأرض المجاورة[1537][1538][1539][1540][1541]. ويسبّب تحميل الرف القاري بماء صفائح الجليد المنصهرة ارتفاعاً في اليابسة، ويعتمد على سمك الصخور الهشة وبلاستيكية غطاء الأرض لأعماق تبلغ 670 كيلومتراً على الأقل[1542]. وإذا ارتفعت اليابسة، فقد ينخفض مستوى سطح البحر.

تبيّن سجلات مستوى سطح البحر ما بعد الجليدية من شمال شرق إيرلندا قبل 21000 و11000 عام أن هناك ارتفاعاً وانخفاضاً كان في مستوى سطح البحر استجابة لتفريغ الجليد[1543]. إن تغير مخطط مستوى سطح البحر شبيه بمنشار. ويظهر ارتفاع أولي قوي جداً (قبل 21000 ـ 19000 عام)، وتحميل الجليد، وغرق لليابسة وارتفاع نسبي لمستوى سطح البحر (قبل 19000 ـ 17500 عام وقبل 7000 ـ 14000 عام) وفقدان مفجع للجليد، وارتفاع سريع لليابسة وانخفاض نسبي لمستوى سطح البحر (قبل 14500 ـ 13000 عام). ولا تؤخذ هذه التداعيات

(1537) A. L. Bloom, «Pleistocene Shorelines: A New Test of Isostasy,» *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 78 (1967), pp. 1477-1494.

(1538) R. I. Walcott, «Late Quaternary Vertical Movements in Eastern America: Quantitative Evidence of Glacio-Isostatic Rebound,» *Reviews in Geophysics and Space Physics*, vol. 10 (1972), pp. 849-884.

(1539) J. Chappell [et al.], «Hydro-Isostasy and the Sea-Level Isobase of 5500 B. P. in North Queensland, Australia,» *Marine Geology*, vol. 49 (1982), pp. 81-90.

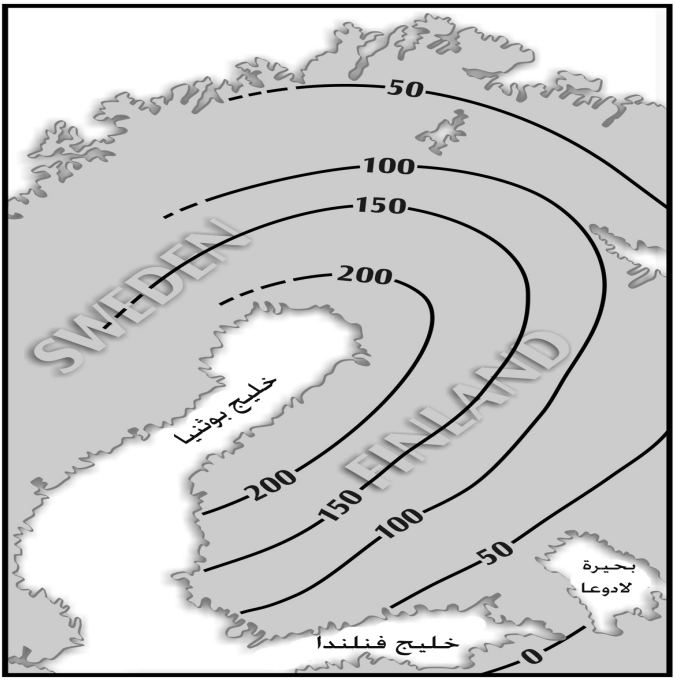
(1540) J. G. Gibb, «A New Zealand Regional Holocene Eustatic Sea-Level Curve and its Application for Determination of Vertical Tectonic Movements,» *Bulletin of the Royal Society of New Zealand*, vol. 24 (1986), pp. 377-395.

(1541) M. Nakada, «Holocene Sea Levels in Ocean Islands: Implications for the Rhelogical Structure of the Earth's Mantle,» *Tectonophysics,* vol. 121 (1986), pp. 263-276.

(1542) M. Nakada, and K. Lambeck, «Late Pleistocene and Holocene Sea-Level Change in the Australian Region and Mantle Rheology,» *Geophysical Journal International*, vol. 96 (2008), pp. 497-517.

(1543) A. M. McCabe [et al.], «Relative Sea-Level Changes from NE Ireland during the Last Glacial Termination,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 164 (2007), pp. 1059-1063.

السريعة جداً في الجليد، ومستوى سطح البحر ومستوى اليابسة بالحسبان في النماذج الجيوفيزيائية والمناخية[1544][1545].



الشكل 30: ارتفاع ما بعد جليدي لفينوسكانديا (بالأمتار) خلال الـ 9000 عام الماضية. وإن معدل الارتفاع الحالي هو سنتيمتر واحد في العام[1546]. ويجعل ارتفاع كهذا تحديد تغيرات مستوى سطح البحر صعبةً جداً.

إن هولندا تغرق[1547]. وكان الهولنديون منذ أكثر من 1000 عام، يبنون خنادق، ويضخون الماء بطاحونات هوائية، ويعانون انفجار الماء عندما تتزامن

(1544) K. Lambeck, «Late Devensian and Holocene Shorelines of the British Isles and North Sea from Models of Glacio-Hydrostatic Rebound,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 153 (1996), pp. 437-448.

(1545) I. Shennan [et al.], «Relative Sea-Level Changes, Glacial Isostatic Modeling and Ice Sheet Reconstructions from the British Isles since the Last Glacial Maximum,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 21 (2006), pp. 585-599.

(1546) E. Niskanen, «On the Upheaval of Land in Fennsoscandia,» *Isostatic Institution International Association of Geodesy Publication*, Helsinki (1939).

(1547) V. Eitner, «Geomorphological Response of the East Frisian Barrier Islands to Sea-Level Rise: An Investigation of Past and Future Evolution,» *Geomorphology*, vol. 15 (1996), pp. 57-65.

العواصف مع المد والجزر الشديد. ويقع اليوم نحو 40 في المئة من هولندا تحت مستوى سطح البحر، ويحمي البلاد من الغرق أكثر من 2000 كيلومتر من الخنادق عند بحر الشمال. وضاع أكثر من 580000 هيكتار من اليابسة الزراعية في بحر الشمال منذ عام 1200.

قتل فيضان سانتا لوتشيا (St Lucia Floria) في 14 كانون الأول/ ديسمبر 1287 ما بين 50000 إلى 80000 شخص، وتشكل زويدر زي (Zuider Zee) بطوفان الخث وغزو بحر الشمال. وكانت غروتي ماندرينكي (Grote Mandrenke) (غرق الرجال الكبير) مجموعة من رياح قوة إعصارية وانسياب عاصفي. وقتل نحو 25000 شخص، في سلسفيغ (Slesvig) (الدنمارك)، واختفت نحو 60 أبرشية بالكامل. كما دمرت عاصفة في الثامن عشر من تشرين الثاني/ نوفمبر 1421 خمساً وستين قرية وهلك نحو 10000 شخص[1548]، وبعد عاصفة كبرى عام 1916، استخلص برنامج بناء رئيسي عام 1918، 400000 هكتار من زويدر زي أراضي صالحة للزراعة، تمثل نحو 10 في المئة من أرض البلاد الزراعية، وخفض خط الشاطئ 300 كيلومتر، ودفع زويدر زي القديمة نحو 85 كيلومتراً باتجاه الجنوب[1549].

تغرق مناطق كثيرة بسبب استخراج (Extraction) المياه الجوفية (على سبيل المثال، بانكوك، ومكسيكو سيتي، ودنفر) والبترول (على سبيل المثال، ساحل خليج تكساس). وتحدث معدلات غمر (Submergence) بنحو 11 ملليمتراً في العام في خليج غالفستون (Galveston Bay) (تكساس) ناتجة من استخراج الماء والبترول، والانخساف[1550]. ويزيد الغور أو الانخساف (Subsidence) من خطر الطوفان جراء النشاط الإعصاري، كما بيّن إعصار كاترينا إن كل منطقة خليج تكساس تغور قبل ثلاث سنوات من الفيضان الذي رافق إعصار كاترينا والذي دمر نيو أورليانز (New Orleans) في آب/ أغسطس عام 2005، كانت المدينة والمنطقة التي حولها غمرت سريعاً ولعمق متر واحد.

(1548) S. Van Baars, «The Causes and Mechanisms of Historical Dike Failures in the Netherlands,» (2007). < http://www.geo.citg.tudelft.nl/vanbaars/research/dikes/historicaloverview.pd >.

(1549) H. N. Van Lier and F. R. Steiner, «Review of the Zuiderzee Reclamation Works: An Example of Dutch Physical Planning,» *Landscape Plan*, vol. 9 (1982), pp. 35-59.

(1550) J. M. Sharp and S. J. Germiat, «Risk Assessment and Causes of Subsidence and Inundation along the Texas Gulf Coast,» in: R. Paepe, R. W. Fairbridge and S. Jelgersma, eds., *Greenhouse Effect, Sea Level and Drought* (London: Kluwer, 1990), pp. 395-414.

تبين مقاييس المد والجزر في لندن ارتفاعاً في مستوى سطح البحر. وقد ارتفع مستوى سطح البحر في نهاية التجلد الأخير قبل 14000 عام، وملئ وادي أحد الأنهار بالماء. وهذا الوادي هو القناة الإنجليزية الآن. وغرق ما كان نهر مياهٍ عذبة صغيراً (نهر التايمز) وصار متعلقاً بالمد والجزر مع مستنقعات في وادٍ منفتح واسع. وبنى الرومان لوندونيوم (Londonium) على ضفاف نهر التايمز، وكان عليهم أن ينقلوها إلى سطوح النهر لأن العواصف المتزامنة مع مد وجزر ربيعي وفيضانات سببتها الرياح، سبّبت غرقاً[1551]. ولم يعرف الرومان ومن بعدهم سكان لندن أن شرق إنجلترا كلها كانت تنخفض. ويسبب الارتفاع ما بعد الجليدي لاسكوتلندا انخفاضاً تعويضياً في شرق إنجلترا، وأجزاء من الساحل الشرقي قد انخفضت ستة أمتار في الـ 6500 عام الماضية[1552][1553]. وترتفع اسكوتلندا، بينما ينخفض شرق إنجلترا (وبخاصة إيست أنجليا). وإن الغرق موثق جيداً بعد الأزمنة الرومانية[1554][1555][1556][1557].

وقد حلّ جسر صخري محل جسر لندن الأول الخشبي في القرن الثاني عشر. وكان انخساف أساسات الجسر سبب أغنية الأطفال الشهيرة جسر لندن ينهار (London Bridge is Íalling Down)[1558]. وقد نتج من استخراج المياه الجوفية من الحصى والتربة على ضفاف التايمز اندماج زاد في غرق لندن[1559]. وبعد 2000 عام من فيضان النهر والغرق من بحر الشمال، بني حاجز التايمز وفتح عام 1984[1560]. كان هذا الحاجز مصمماً لحماية لندن حتى عام 2030.

(1551) A. T. Dodson and J. S. Dines, «Report on Thames Floods and Meteorological Conditions Associated with High Tides in the Thames,» *Geophysical Memoirs*, vol. 47 (1929), pp. 1-39.

(1552) F. W. Dunning [et al.], *Britain before Man* (London: HMSO, 1978).

(1553) K. M. Clayton, «Sea-Level Rise and Coastal Defences in the UK,» *Quarterly Journal of Engineering Geology*, vol. 23 (1990), pp. 283-287.

(1554) A. Savage, «The Anglo-Saxon Chronicles,» *Crescent Books* (1995).

(1555) Matthew Paris, *Chronica Majora* (1236).

(1556) John Stow, *The Chronicles of England from Brute unto this Present Yeare of Christ* (London: [n. pb.], 1580).

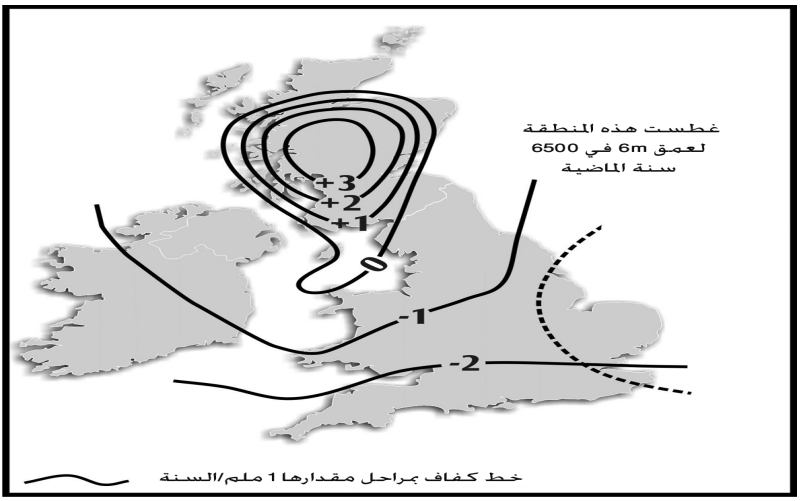
(1557) Samuel Pepys, *The Diary of Samuel Pepys* (London: Cassell, 1666).

(1558) G. Wilson and H. Grace, «The Settlement of London due to Underdrainage of the London Clay,» *Journal of the Institution of Civil Engineers*, vol. 19 (1942), pp. 100-127.

(1559) J. F. Poland and G. H. Davis, «Land Subsidence due to Withdrawals of Fluids,» *Reviews in Engineering Geology*, vol. 2 (1969), pp. 187-269.

(1560) S. Gilbert and R. W. Horner, *The Thames Barrier* (London: T. Telford, 1984).

ومازالت لندن تنخفض، ولا يمكننا فعل شيء إزاء هذا الأمر. وربما ارتفعت لندن خلال التجلد التالي الذي لا مفر منه.



الشكل 31: ارتفاع اسكوتلندا وانخفاض إنجلترا (وبخاصة شرق إنجلترا) الناتج من فقدان الجليد (تفريغ). وبدأ التفريغ مع فقدان الجليد قبل 14,000 عام، ويتباطأ ارتفاع اليابسة وراء فقدان الجليد.

يجبر تغير مستوى سطح البحر واليابسة الشواطئ على التقدم والتراجع. وهناك كتاب محبط يوثق فقدان المدن في البحار بتغير الشواطئ[1561]. ويتراجع الشاطئ حول واش (يارموث ولوفستوفت (Yarmouth and Lowestoft))[1562]. وقد حاول الرومان وقف تآكل الشاطئ هنا وأخفقوا، وتراجع الشاطئ 1.8 متر في العام منذ أزمنة الرومان[1563]، وتمّ قطع الجرف في مناطق أخرى (على سبيل المثال، لايم ريجس، ودورست)، غير أن الشاطئ بقي يتقدم في مناطق أخرى (على سبيل المثال، نمو الأرض 12 متراً في العام على ساحل يوركشاير)[1564].

(1561) T. Sheppard, *The Lost Towns of the Yorkshire Coast and other Chapters Bearing upon the Geography of the District* (London: A. Brown and Sons, 1912).

(1562) C. Green and J. N. Hutchinson, «Relative Land and Sea Levels at Great Yarmouth, Norfolk,» *The Geographical Journal,* vol. 131 (1965), pp. 86-90.

(1563) C. Green, «East Anglian Coastline Levels since the Roman Times,» *Antiquity,* vol. 35 (1961), pp. 21-28 and 155-156.

(1564) E. M. Lee, W. J. Hall and I. C. Meadowcroft, «Coastal Cliff Recession: The Use of Probabilistic Prediction Methods,» *Geomorphology*, vol. 40 (2001), pp. 253-269.

على المرء أن يكون متفائلاً جداً عند استعمال قياسات مقياس المد والجزر لتحديد تغيرات البحر طويلة الأمد. إن فرصة القياسات طويلة الأمد الدقيقة بعيدة المنال. وتأتي معظم سجلات مقياس المد والجزر طويلة الأمد التي يعتمد عليها من أوروبا والولايات المتحدة الأميركية. على سبيل المثال، كان المتوسط السنوي لارتفاع مستوى سطح البحر النسبي في مدينة نيويورك من عام 1893 حتى عام 1995 2.9 ملليمتر (mm) خلال السنين الـ 103 كلها. وهذا ارتفاع نسبي في مستوى سطح البحر إذ ارتفع مستوى سطح البحر فعلاً، وإن مستوى اليابسة سينخفض أو أن يحدث الأمران معاً. من المعروف جيداً أن التمدن المتزايد يؤدي إلى انخفاض اليابسة. وليست نيويورك في ذلك استثناءً. ويعتمد ذلك أيضاً على الطريقة التي نرى بها البيانات. وتختلف بلوكات فواصل من 20 عاماً اختلافاً كبيراً مع ارتفاع مستوى سطح البحر من 0 إلى 6 ملليمتر في العام، وتختلف بلوكات فواصل 40 عاماً من 0.9 إلى 3.5 ملليمتر في العام[1565].

إن مستوى سطح البحر عرضة لتغيرات منخفضة الترددات مسجلة فوق مناطق محيط واسعة عدة عقود أو أكثر. وإن لمستوى سطح البحر النسبي عالمياً تغيراً سنوياً أو كل عشر سنين مداه أكبر من المعدل الكلي لارتفاع مستوى سطح البحر خلال عقود. وإن التسجيل خلال فترات طويلة فحسب يمكنه أن يولد بدقة الاتجاه الضمني. إن أسباباً أخرى لتغير مستوى سطح البحر هي دورة العقدة القمرية (Lunar Nodal Cycle) التي مدتها 18.6 عاماً، وأحداث إل نينو، والزلازل، والبراكين، وترسبات قاع المحيط، وأحداث الرياح العالية والطقس الفاسد المتعلق بخلايا جوية منخفضة الضغط.

خلال فترة 18.6 عاماً، يتحرك مسار القمر نحو الشمال عبر خط الاستواء، ثم يعود بمسار منحن بسبب جاذبية الشمس. وكان عام 2006 عام ذروة المد والجزر القمري الذي يبلغ 18.6 عاماً، حيث جلبت تيارات المد والجزر كميات كبيرة من المياه الدافئة إلى القطب الشمالي. وكنتيجة، سخن محيط القطب الشمالي وازداد معدل ذوبان جليد البحر الصيفي.

B. C. Douglas and W. R. Peltier, «The Puzzle of Global Sea-Level Rise,» *Physics Today* (1565) (March 2002), pp. 1-6.

وتأثر الساحل الغربي لغرينلاند كله بوصول كميات من الماء الدافئ من بحر إرمنغر (Irminger Sea) بالقرب من أيسلاندا، وبدأت بعض المجلدات فجأةً تصبح رقيقة[1566]. غير أن معدل ذوبان الجليد لم يكن سريعاً مثلما كان في ثلاثينيات القرن العشرين. وروّج الإعلام أن الجليد المتناقص كان دليلاً على الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان. ويُنتج المد والجزر الشديد في المحيطات تغيرات في درجة حرارة سطح البحر ضمن فواصل من 90 يوماً مبنية على تخطيط الأرض، والشمس، والقمر خلال الدورة العقدية القمرية ذات الـ 18.6 عاماً. ويزيد المد والجزر الشديدان الدمج العمودي لمياه البحر، وبالتالي يسببان ابتراداً عرضياً لمياه سطح البحر[1567].

إلى جانب التسونامي المفجع الذي دمر المدن وأغرق الآلاف من دلتا النيل إلى دوبروفنيك (Dubro)، رفع زلزال عام 365 جزيرة كريت (Crete) الغربية 10 أمتار فوق مستوى سطح البحر[1568]. إن تغيرات الشاطئ الأكثر شدة تأتي من عمليات محلية وإقليمية الأمد (على سبيل المثال، الزوابع[1569]، والتسوناميات)[1570]، متزامنة مع دورة المد والجزر ذات الـ 18.6 عاماً[1571]. وفي ساحل غويانا الفرنسية، يمكن أن يؤدي ذلك إلى ارتفاع 6 سنتيمترات وتراجع الشاطئ 90 متراً[1572].

بيّنت دراسة فرنسية لأربعة عقود من بيانات أخذت من محطات قياس مد وجزر، ومن أقمار اصطناعية، أن ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي الحديث

(1566) D. M. Holland [et al.], «Acceleration of Jakobshavn Isbrae Triggered by Warm Subsurface Ocean Waters,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 659-664.

(1567) C. D. Keeling and T. P. Whorf, «Possible Forcing of Global Temperature by the Oceanic Tides,» *Proceedings of the National Academy of Sciences,* vol. 94 (1997), pp. 8321-8328.

(1568) B. Shaw [et al.], «Eastern Mediterranean Tectonics and Tsunami Hazard from the AD 365 Earthquake,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 268-276.

(1569) J. P. Ericson [et al.], «Effective Sea-Level Rise in Deltas: Causes of Change and Human Dimension Impacts,» *Global and Planetary Change*, vol. 50 (2006), pp. 63-82.

(1570) J. C. Borreo, «Field and Satellite Imagery of Tsunami Effects in Banda Aceh,» *Science*, vol. 308 (2005), p. 1596.

(1571) J. T. Wells and J. M. Coleman, «Periodic Mudflat Progradation, Northeastern Coast of South America: A Hypothesis,» *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 51 (1981), pp. 1069-1075.

(1572) N. Gratiot [et al.], «Significant Contribution of the 18.6 Year Tidal Cycle to Regional Coastal Changes,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 169-172.

تقدير مغالى فيه[1573]، ولقد استعملت جزيرة برمودا (Bermuda) كمثال للمياه العميقة في تبيان تغير مستوى سطح البحر واتجاه ارتفاع هذا المستوى. وبيّنت مقاييس المد والجزر بين 1955 و1998، أن مستوى سطح البحر ارتفع نسبياً بـ 0.67 بـ 0.67 ملليمتر في العام، ولكن اتجاه السجل كله للفترة (1933 ـ 1998) هو ثلاثة أضعاف هذا المعدل.

إن برمودا هي جزيرة تتكون من شعب مرجانية تغطي بركاناً منقرضاً، ومحاطة بمياه أعمق من ثلاثة كيلومترات. وإن ارتفاع مستوى سطح البحر النسبي، على الأغلب، يقيس معدل انخفاض البركان.

إن تغير مستوى سطح البحر قد يؤدي إلى انفجارات بركانية[1574]. وخلال الـ 2.67 مليون عام الماضية من التجلدات والفترات ما بين الجليدية مع مستوى بحر يرتفع وينخفض بسرعة، سجل تزايد في البركانية المتفجرة. قد تكون البراكين المتفجرة متعلقة بتغير في مستوى سطح البحر[1575]، وبتغير في المناخ[1576]. وتحدث علامات بحرية كثيرة من الصخور المنصهرة في القشرة والغطاء تحت قاع المحيط. ومن الأمثلة على ذلك، هضبة الكاريبي ـ الكولمبي، وهضبة الكرغويلي، وهضبة أونتونغ جافا، وهضبة مانيهيكي وسهل هيكورانجي.

تولّد هذه ارتفاعاً رأسياً عريضاً يمكن أن يرفع قاع المحيط نحو 500 إلى 1000 متر فوق مساحة تبلغ 1000 كيلومتر[1577]. وليس لهذا أثر عميق في تيارات المحيط، أو يضيف كميات كثيرة من الحرارة إلى المحيطات فحسب، بل إنه يحدث ارتفاعاً في مستوى سطح البحر لأن كمية كبيرة من مياه البحر تنزاح[1578].

(1573) C. Cabanes, A. Cazenave and C. le Provost, «Sea Level Rise during the Past 40 Years Determined from Satellite and in Situ Observations,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 840-842.

(1574) W. J. McGuire [et al.], «Correlation between the Rate of Sea-Level Change and Frequency of Explosive Volcanism in the Mediterranean,» *Nature*, vol. 399 (1997), pp. 473-476.

(1575) W. J. McGuire, «Changing Sea Levels and Erupting Volcanoes: Cause and Effect?,» *Geology Today*, vol. 8 (2008), pp. 141-144.

(1576) M. R. Rampino, S. Self and R. W. Fairbridge, «Can Rapid Climate Change Cause Volcanic Eruptions?,» *Science*, vol. 206 (1979), pp. 826-829.

(1577) I. U. Peate and S. E. Bryan, «Re-Evaluating Plume-Induced Uplift in the Emeishan Large Igneous Province,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 625-629.

(1578) I. U. Peate, M. Larsen and C. E. Lesher, «The Transition from Sedimentation to Flood Volcanism in the Kangerlussuaq Break-Up,» *Journal of the Geological Society, London*, vol. 160 (2003), pp. 759-772.

لم تسجل دراسة لمستنقع مالح ساحلي في شمال شرق الولايات المتحدة الأميركية حصول احترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير ولكنها سجلت ارتفاعاً في مستوى سطح البحر منذ أواخر القرن التاسع عشر[1579]. ولم ترتبط الفترات الدافئة بارتفاع مستوى سطح البحر. ويبدو أن عوامل محلية تحرك تغير مستوى اليابسة ومستوى سطح البحر ولا علاقة لها بتغيرات عالمية. وتم اختبار قياسات متعددة من الأزمنة باستعمال تأريخ الكربون للسنين الـ 6000 الأخيرة لترسبات عضوية غنية وخث متعلق بترسبات مصب النهر، ومستنقعات ضحلة على طول سواحل مستقرة أو منخسفة ظاهرياً. وكان مقياس آخر هو ما حصل في الـ 1000 عام الأخيرة باستعمال الخث ومنخربات (Foraminifera) قاعية أخذت من مستنقعات مالحة ساحلية. وكان المقياس الأخير المستعمل هو السجل التاريخي لبضع مئات من السنين الأخيرة مبنياً على قياسات المد والجزر. وكانت الخلاصة أن السجل التاريخي كان «تتمةً للماضي وليس اضطراباً استثنائياً»، وأنه لم يكن هناك مؤشر لارتفاع واضح لدرجة الحرارة في القرن العشرين، وليست هناك علاقة بين الـ CO_2 الجوي ودرجة الحرارة.

يبيّن برزخ كورنث (Corinth) سلسلة ترددات متتالية أمدها 350000 عام من انسيابات بين البحيرات، والبحار، واليابسة[1580]. وإذا كانت هذه المنطقة مستعملة لحساب ارتفاع مستوى سطح البحر، فيمكن حساب تغير مستوى سطح البحر من 0.23 إلى 1.4 ملليمتر في العام، غير أنه ليس لها علاقة بتغير مستوى سطح البحر العالمي. ومرة أخرى، يسجل هذا كميزة محلية، وهي في هذه الحال حركة تكتونية إذ تمتد شبه الجزيرة البيلوبونيزية بعيداً عن البر الرئيسي.

يحدث ذوبان صفائح الجليد والمجلدات، واتساع مياه البحر مع الاحترار وإضافة صخور منصهرة جديدة إلى قاع البحر ارتفاعاً في مستوى سطح البحر، بينما يمكن لإضافة الثلج إلى صفائح الجليد، والتغير في شكل قاع المحيط، والتغير في أشكال اليابسة وفتح طرق البحار وإغلاقها أن يحدث انخفاضاً في

(1579) J. C. Varekamp, E. Thomas and O. van de Plassche, «Relative Sea-Level Rise and Climate Change over the Last 1500 Years,» *Terra Nova*, vol. 4 (2007), pp. 292-304.

(1580) S. Kershaw, L. Guo and J. C. Braga, «A Holocene Coral-Algal Reef at Marva Litharia, Gulf of Corinth, Greece: Structure, History and Applications in Relative Sea-Level Change,» *Marine Geology*, vol. 215 (2005), pp. 171-192.

مستوى سطح البحر[1581]. إن الاتساع الحراري للمحيطات ليس معروفاً بصورة جيدة بسبب نقص العيّنات في محيطات النصف الجنوبي للكرة الأرضية في جميع الأعماق والسهول العميقة في نصفي الكرة الأرضية. غير أن مياه سطح البحر هي التي تتأثر فقط بالاتساع الحراري، ويمكن لأزمنة الاستجابة أن تكون سريعة جداً، ويصل تغيرمستوى سطح البحر إلى بضع ملليمترات فقط[1582].

يمكن لأحداث إل نينو أن تسبّب ارتفاعاً في مستوى سطح البحر يصل إلى نصف متر[1583]. وقد رفع حدث إل نينو عام 1982 ـ 1983 مستوى سطح البحر 0.35 متر على طول الساحل الغربي للولايات المتحدة الأميركية، إذ لم تكن هناك رياح شرقية تجبر المياه على العودة إلى غرب المحيط الهادي[1584][1585][1586]. وتسبب الزيادة في حمل الماء خسفاً لقاع المحيط. وتبين سدود مخازن المياه أن اليابسة تحت الماء ترتفع وتنخفض، اعتماداً على مستوى الماء. ويكون لكثير من السدود الكبيرة شبكة مراقبة زلزالية لقياس حركة اليابسة المتعلقة بتحميل ماء السد وتفريغه. إضافةً إلى ذلك، فإذا عمقت تكتونيات الصفائح خنادق المحيط والشقوق الوسطى لمرتفعات منتصف المحيط، ينخفض مستوى سطح البحر.

بينما تخضع المحيطات للتجوية (Weathering) لتشكيل التربة، يزيل التآكل التربة، وترتفع الكتل القارية بجاذبية منتجةً انخفاضاً نسبياً في مستوى سطح البحر. ويحدث هذا في مناطق ألبية كثيرة. وتبقى المادة المتآكلة مترسبة،

(1581) A. W. Hogan and A. J. Gow, «Occurrence Frequency of Thickness of Annual Snow Accumulation Layers at South Pole,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 102 (1997), pp. 021-014.

(1582) R. A. Warrick and G. Farmer, «The Greenhouse Effect, Climate Change and Rising Sea Level: Implications for Development,» *Transactions of the Institute British Geographers*, vol. 15 (1990), pp. 5-20.

(1583) G. Meyers, «Variation of Indonesian Flowthrough and El Niño Southern Oscillation: Pacific Low-Latitude Western Boundary Currents and the Indonesian Flowthrough,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 101 (1996), pp. 12255-12264.

(1584) K. Wyrtki, «El Niño: The Dynamic Response of the Equatorial Pacific Ocean to Atmospheric Forcing,» *Journal of Physical Oceanography*, vol. 5 (1975), pp. 572-584.

(1585) D. E. Harrison and M. A. Crane, «Changes in the Pacific during the 1982-83 El Niño Event,» *Oceanus*, vol. 27 (1984), pp. 21-28.

(1586) P. D. Komar, «El Niño and Erosion on the Coast of Oregon,» *Shore and Beach*, vol. 54 (1986), pp. 3-12.

وبخاصة في الدلتا، والشواطئ والريف القاري. ويسبب الوزن الإضافي للمواد غرقاً للرف القاري بالقرب من مناطق الشواطئ. فعلى سبيل المثال، تنخفض دلتا الميسيسيبي (Mississipi Delta) بسبب اندماج الترسبات[1587]. وينتج هذا ارتفاعاً نسبياً في مستوى سطح البحر. ولا يمكن لهذه العمليات، على الرغم من أنها معروفة جيداً، أن تقاس بدقة الآن. لقد مرت مناطق أخرى منخفضة مثل جنوب شرق آسيا لتَعرض مُعتبر لليابسة وغرق نتج منه تغيرات في أنظمة النهر والشاطئ خلال مناخات متقلبة[1588]. وخلافاً للاعتقاد السائد، فإن بنغلادش تنمو بسبب الكميات الكبيرة من الترسبات في دلتا الغانج (Ganges delta).

هذا وقد زادت قياسات تغير مستوى سطح البحر باستخدام الأقمار الاصطناعية من الدقة، غير أن سبب أي تغير لقياس مستوى سطح البحر ما زال بعيداً عن الوضوح. ويمكن لقمر قياس ارتفاع اصطناعي (Altimetric Satellites) مثل (TOPEX/Poseidon) (بدأ عمله 1992)، وJason 1 (في 2001) و(GRACE) (في 2002) أن يقيس تغير مستوى سطح البحر المطلق للكوكب كله. وتتألف هذه الأقمار الاصطناعية من نظامي تقفي ساتلي لقياس التعلق الزمني للمجال الجاذبي للأرض، ويمكن أن يقيسا مستوى سطح البحر العالمي بدقة غير عادية. ولكن قياسات الأقمار الاصطناعية تحتاج إلى تصحيح باستعمال نموذج جيوفيزيائي قائم على حقيقة أن قشرة الأرض مرنة وهشة. ولقد بيّنت أجهزة قياس ارتفاع رادارية في (TOPEX/Poseidon) أن متوسط ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي كان بعد التصحيح بحدود 2.4 ملليمتر في العام، وهذه قيمة قريبة من مقاييس المد والجزر المصححة[1589].

أضف إلى ذلك أن قياسات الأقمار الاصطناعية هذه تبين تفاوتاً في مرتفعات وانخفاضات تختلف اختلافاً مبنياً على أسس محلية. على سبيل المثال، إن قاع المحيط الهادي حول توفالو (Tuvalo) يغرق، لكنه يعطي هيئة ارتفاع في مستوى سطح البحر. كان توفالو خلال السنوات العشرين التي خلت

(1587) T. E. Törnqvist [et al.], «Mississippi Delta Subsidence Primarily Caused by Compaction of Holocene Strata,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 173-176.

(1588) H. K. Voris, «Maps of Pleistocene Sea Levels in Southeast Asia: Shorelines, River Systems and Time Durations,» *Journal of Biogeography*, vol. 27 (2001), pp. 1153-1167.

(1589) Bruce C. Douglas, Michael S. Kearney and Stephen P. Leatherman, eds., *Sea Level Rise: History and Consequences* (San Diego: Academic Press, 2001).

رمز الغرق في مستوى سطح البحر. ولا يزال توفالو هناك، ولم يغرق. وتنمو الجزر المرجانية صعوداً استجابةً لارتفاع مستوى سطح البحر النسبي.

أما إذا كانت جيولوجية القشرة تحت أقدامنا معروفة جيداً، وكان حمل الجليد خلال خمسة ملايين عام مضت من التجلد معروفاً أيضاً، فإن البيانات عن ارتفاع اليابسة أو انخفاضها تكون تحزرية بعض الشيء. ويصعب جداً قياس مستوى سطح البحر ومعرفة حاله إن كان يرتفع أو ينخفض. غير أنه يمكننا أن نقيس هذا التغير بعد الحدث، وسوف تحدد الأقمار الاصطناعية مع الزمن، تغيرات مستوى سطح البحر طويلة الأمد المطلقة المتعلقة بمركز كتلة الأرض. غير أن الأقمار الاصطناعية لم تقم بقياس مستوى سطح البحر لمدة طويلة، وقد بيّنت الحسابات التي تشمل حجم الأرض وشكلها وجاذبيتها أن تعديلات الارتفاع والانخفاض العالميين تحدث فعلاً انحيازاً في قياسات الساتلين (TOPEX/Poseidon) و(GRACE)[1590].

لا يمكن اختبار دقة تحديد الأقمار الاصطناعية لتغير مستوى سطح البحر بالملاحظات الأرضية. وتنتج محاولات الاعتراف بالصدقية على قياسات الأقمار الاصطناعية لـ 0.4 ± 2.8 ملليمتر في العام[1591][1592]، أي متوسط ارتفاع عالمي يبلغ يبلغ 1.6 ملليمتر في العام (16 سنتيمتر في القرن) للفترة بين 1993 ـ 2004. ويبلغ هذا نحو 60 في المئة من تقديرات الأقمار الاصطناعية. ونحو 70 في المئة من 1.6 ملليمتر في العام بسبب إضافة مياه عذبة إلى المحيطات[1593]. وتبين دراسات أحدث تستعمل بيانات الساتل (GRACE) أن الارتفاع كان 2.5 ملليمتر في الفترة بين 2003 ـ 2005[1594]. وهذا أقل بنحو 20 في المئة من

(1590) P. Wu and W. R. Peltier, «Pleistocene Deglaciation and the Earth's Rotation: A New Analysis,» *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, vol. 76 (1984), pp. 202-242.

(1591) E. W. Leuliette, R. S. Nerem and G. T. Mitchum, «Results of TOPEX/Poseidon and Jason-1 Calibration to Construct a Continuous Record of Mean Sea Level,» *Marine Geology*, vol. 27 (2004), pp. 79-94.

(1592) A. Cazenave and R. S. Nerem, «Present-Day Sea Level Change: Observations an Causes,» *Review of Geophysics*, vol. 42 (2004), doi:10.1029/2003RG000139.

(1593) C. Wunsch, R. M. Ponte and P. Heimbach, «Decadal Trends in Sea Level Patterns, 1993-2004,» *Journal of Climate*, vol. 20 (2007), pp. 5889-5911.

(1594) A. Cazenave [et al.], «Sea Level Budget over 2003-2008: A Reevaluation from GRACE Space Gravimetry, Satellite Altimetry and Argo,» *Global and Planetary Change* (2008), doi: 10.1016/j.gloplach.2008.10.1004.

ارتفاع مستوى سطح البحر الذي نشرته IPCC في 1993 ـ 2003 والمحدد بـ 3.1 ملليمتر في العام، الذي يؤكد ما جاءت به دراسة سابقة[1595]. ويبدو أن لمستوى سطح البحر تغيراً كبيراً ومفهوماً فهماً ضعيفاً، ويجب بالتالي تفسير ملاحظات فترة قصيرة بحذر شديد.

تبيّن قياسات الـ (GPS) من عدة مواقع أن ارتفاع مستوى سطح البحر أقل بكثير مما تم توقعه، وكان في السنوات الست الأولى من القرن الحادي والعشرين 0.34 ± 1.35 ملليمتر في العام[1596]. وهذا الرقم أقل من الأرقام الأكثر ذكراً من بيانات مقياس المد والجزر (0.35 ± 1.84 ملليمتر في العام)[1597][1598]، ويتوافق أكثر مع رقم 1.40 مليمتر في العام[1599]، الذي يعزو 1.0 مليمتر في العام إلى ذوبان خزانات جليد اليابسة العالمي، و0.4 ملليمتر في العام من الاتساع الحراري للمحيطات[1600]. ويبين نقص العلاقة بين عدة تقديرات[1601]، أن ارتفاع مستوى سطح البحر أبطأ بكثير مما اعتقد سابقاً، وأدنى من أي نماذج كارثية مفجعة.

تعطي دراسات عن تغير مستوى سطح البحر الحديث نتائج مخالفة للقلق الشائع من ارتفاع مستوى سطح البحر. وإن الجليد المأخوذ من صفائح الجليد الكبيرة التي تغطي القطب الجنوبي وغرينلاند مسؤول فقط عن 12 في المئة من

(1595) J. K. Willis, D. K. Chambers and R. S. Nerem, «Assessing the Globally Averaged Sea Level Budget on Seasonal to Interannual Timescales,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 113 (2008), C06015, doi: 10.1029/2007JC004517.

(1596) G. Woppelmann [et al.], «Geocentric Sea-Level Trend Estimates from GPS Analyses at Relevant Tide Gauges World Wide,» *Global and Planetary Change*, vol. 57 (2007), pp. 396-406.

(1597) B. C. Douglas, «Global Sea Level Rise,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 96 (1997), pp. 6981-6992.

(1598) B. C. Douglas, «Sea Level Change in the Era of the Recording Tide Gauge,» in: B. Douglas, M. Keraney and S. Leatherman, eds., *Sea Level Rise: History and Consequences* (San Diego: Academic Press, 2001), pp. 37-64.

(1599) J. X. Mitrovica [et al.], «Reanalysis of Ancient Eclipse, Astronomic and Geodetic Data: A Possible Route to Resolving the Enigma of Global Sea Level Rise,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 243 (2006), pp. 390-399.

(1600) J. I. Antonov, S. Levitus, and T. P. Boyer, «Thermosteric Sea Level Rise, 1955-2003,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), doi: 10.1029/2005GL023112.

(1601) W. Munk, «Twentieth Century Sea Level: An Enigma,» *Proceedings of the National Academy of Science*, vol. 99 (2002), pp. 6550-6555.

ارتفاع مستوى سطح البحر اليوم[1602]. وهناك عائق رئيسي في التوقع بمستقبل صفائح الجليد: لأننا لا نعرف ماذا يجري تحتها[1603]. ويُدّعى أن معدل ارتفاع مستوى سطح البحر يتسارع ترادفياً مع معدل ارتفاع تركيز الـ CO_2 في الهواء ودرجة الحرارة[1604]. وعند اختبار هذا الادعاء الآن[1605]، تبيّن أن لا أساس له من الصحة.

لا يعني الاحترار بالضرورة أن الجليد يذوب. أصبح القطب الجنوبي معزولاً بتيار حول القطب حيث انفصل عن جنوب أميركا قبل 37 مليون عام[1606]، وهذا ما برد القطب الجنوبي بفعالية[1607]. وهناك خوف شائع اليوم من أن قلنسوات الجليد القطبي ستذوب، وسيغرق مستوى سطح البحر، نتيجة لذلك، سكان السواحل. وقد أعطى تثقيب الجليد في غرينلاند والقطب الجنوبي سجلاً مستمراً من 800000 عام من الفترات الجليدية وما بين الجليدية. وعندما كانت درجة الحرارة في الفترات ما بين الجليدية الماضية أدفأ على الأقل بخمس درجات من الآن لنحو 10000 عام، لم تذب قلنسوات الجليد القطبي تماماً. وكان مستوى سطح البحر يرتفع وينخفض نحو 130 متراً خلال السنوات الـ 800000 الماضية وبين فترات جليدية وما بين جليدية متعاقبة. ولا يمكن أن تكون صفائح الجليد قد ذابت، وإلا فلن يكون هناك جليد للتثقيب. وقبل أن تكون غرينلاند مغطاة بالجليد، كان للقطب الجنوبي صفيحة جليد سميكة بقيت خلال فترة احترار شديدة من 4 ملايين عام (من 13 إلى 17 مليون عام)[1608].

(1602) A. Shepherd and D. Wingham, «Recent Sea-Level Contributions of the Antarctic and Greenland Ice Sheets,» *Science*, vol. 315 (2007), pp. 1529-1532.

(1603) D. Vaughan and R. Arthern, «Why it is Hard to Predict the Future of Ice Sheets,» *Science*, vol. 315 (2007), pp. 1503-1504.

(1604) M. E. Mann, R. S. Bradley and M. K. Hughes, «Northern Hemisphere Temperatures during the Past Millennium: Inferences, Uncertainties, and Limitations,» *Geophysical Research Letters*, vol. 26 (1999), pp. 759-762.

(1605) C. E. Larsen and I. Clark, «A Search for Scale in Sea Level Studies,» *Journal of Coastal Research*, vol. 22 (2006), pp. 788-800.

(1606) W. D. Cunningham [et al.], «Southernmost South America-Antarctic Peninsula Relative Plate Motions since 84 Ma: Implications for the Tectonic Evolution of the Scotia Arc Region,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 100 (1995), pp. 827-826.

(1607) S. R. Rintoul, C. W. Hughes and D. Olbers, «The Antarctic Circumpolar Current System,» *Ocean Circulation and Climate International Geophysics Series,* vol. 77 (2001), pp. 271-302.

(1608) J. Zachos [et al.], «Trends, Rhythms and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present,» *Science*, vol. 292 (2001), pp. 686-693.

تبع هذا ابتراد سريع[1609]. وتدل اتجاهات حجم الجليد على أن مدار الأرض كان يحرك هذا الابتراد ولا علاقة له بـ الـ CO_2.

تنشأ أكثر التوقعات تحذيراً، من ارتفاع مستوى سطح البحر، من ذوبان صفائح الجليد الذي يسببه الاحترار الكوني، وتحتاج هذه الصفائح إلى أن تقاس قياساً راجعاً (للتعرف على الحالة في الماضي). فالجليد استمر وجوده مدة أطول على الأرض عندما كانت الأرض أكثر سخونة من اليوم. لقد توقع فيلم آل غور الذي فاز بجائزة أوسكار أن مستوى سطح البحر سيرتفع ستة أمتار في المستقبل القريب، بينما تقول توقعات أخرى إن الارتفاع سيكون بين مترين وأربعة أمتار. وقد صدرت هذه التوقعات في غياب معلومات عن الماضي، ولا تأخذ بالاعتبار جميع العمليات الأخرى المشمولة بتغيرات مستوى سطح البحر. إن التلويح بأفلام رعب مناخية مصنوعة في هوليود ليست الطريقة التي يعمل بها العلم، بل هي الطريقة التي تعمل بها هوليوود، ويمكن اعتباره خيالاً مثل أي منتج هوليوودي مشابه.

يقول علماء آخرون إننا لا يمكننا وضع توقعات دقيقة، لأننا لا نفهم سلوك صفائح الجليد. وبدلاً من ذلك، يحسبون كيف على المجلدات السريعة أن تتحرك لإلقاء الجليد في البحر، أو إحداث ارتفاع في مستوى سطح البحر بمقدار مترين. فإن معدل تحرك الجليد اللازم أسرع بكثير من حركة صفائح الجليد المقاسة. إن كان هناك ارتفاع لمستوى سطح البحر بمقدار مترين، فيجب أن ترتفع سرعة مجلدات غرينلاند إلى 48 كيلومتراً في العام، وأن تبقى ضمن هذه السرعة لمئة عام مقبلة[1610]. إن أقصى سرعة مقاسة لمجلد اليوم هي 15 كيلومتراً في العام. وليست تغيرات مستوى سطح البحر خلال الـ 20 عاماً الماضية غير عادية تحديداً. وكان تغير مستوى سطح البحر أكبر في الجزء الأول من القرن الماضي (2.03 ± 0.35 ملليمتر في العام، 1904 ـ 1953) مقارنةً بالجزء الثاني (1.45 ± 0.34 ملليمتر في العام، 1954 ـ 2003). وحدث المعدل الأعلى في الارتفاع في العقد المركز على عام 1980 (5.31 ملليمتر في العام) مع انخفاض في العقد المركز على عام 1964 (1.49 ملليمتر في العام).

(1609) A. E. Shevenell, J. P. Kennett and D. W. Lea, «Middle Miocene Southern Ocean Cooling and Antarctic Cryosphere Expansion,» *Science*, vol. 305 (2004), pp. 1766-1770.

(1610) T. Pfeffer, J. Harper and S. O'Neel, «Kinematic Constraints on Glacier Contribution to 21st - Century Sea-Level Rise,» *Science*, vol. 321 (2008), pp. 1340-1343.

وكان متوسط معدل التغير خلال القرن كله 0.16 ± 1.74 ملليمتر في العام[1611]، أي أقل من أي رقم نشرته IPCC.

ويقترح نموذج آخر عن ارتفاع مستوى سطح البحر اليوم مكونة جديدة هي الاتساع الحراري (Thermal Expansion) (+28.8 سنتيمتراً بحلول 2100)، وذوبان مجلدات وادي الألب (+10.6 سنتيمترات)، وذوبان جليد غرينلاند (2.4 سنتيمتر) وتراكم ثلج القطب الجنوبي (-7.4 سنتيمترات)[1612]. إن إسقاطات ارتفاع مستوى سطح البحر بسبب ذوبان مجلدات وادي الألب (4.6 سنتيمترات) وقلنسوات الجليد (5.1 سنتيمترات) تبلغ نحو نصف الإسقاطات الأخرى، وأقل بكثير من تخمينات IPCC. وإن الشك الأكبر في حساب ارتفاع مستوى سطح البحر من ذوبان صفائح الجليد القطبية هو النقص في فهم التغيرات التي تؤثر في الجليد، والمناخ القطبي[1613]. ولا يجسد أي من هذه الحسابات ارتفاع اليابسة وانخفاضها، وارتفاع قاع البحر وانخفاضه، وانخفاض الدلتا والمناطق الساحلية، وأثر التأرجح بالتحميل والتفريغ، وآثار الظواهر والأحوال الجوية، والجاذبية في مستوى سطح البحر.

عندما تدفأ المحيطات والهواء، يتبخر مزيد من الماء من المحيطات وتترسب هذه الرطوبة مثل الثلج على أغطية الجليد القطبية والمجلدات. وما لم تكن هناك حرارة محلية مساندة لإحداث ذوبان محلي طويل الأمد، فسيجبر الاحترار الكوني على نمو المجلدات وأغطية الجليد. ويدعم هذا الاستنتاج دراسات عن ذوبان صفائح جليد غرينلاند التي تبيّن أن ارتفاع الحرارة بمقدار درجة مئوية يرفع مستوى سطح البحر بـ 0.03 إلى 0.77 ملليمتر في العام، ويخفض مستوى سطح البحر بين 0.2 إلى 0.7 ملليمتر في العام نتيجة للترسب المتزايد المضاف إلى غطاء الجليد[1614]. وإذا ذابت كميات الجليد القارية،

(1611) S. J. Holgate, «On the Decadal Rates of Sea Level Change during the Twentieth Century,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L01602, doi: 10.1029/2006GL028492.

(1612) S. C. B. Raper and R. J. Braithwaite, «Low Sea Level Rise Projections from Mountain Glaciers and Ice Caps under Global Warming,» *Nature*, vol. 439 (2006), pp. 311-313.

(1613) F. Rémy and M. Frezzotti, «Antarctic Ice Sheet Mass Balance,» *Comptes Rendus Geosciences*, vol. 338 (2006), pp. 1084-1097.

(1614) N. Reeh, «Mass Balance of the Greenland Ice Sheet: Can Modern Observation Methods Reduce the Uncertainty,» *Geografiska Annaler*, 81A (1999), pp. 735-742.

فهذا لا يعني بالضرورة أن مستوى سطح البحر سيرتفع. وسترتفع اليابسة التي كانت مغطاة بالجليد، كما أن تحميل المزيد من الماء إلى المحيطات سيهبط قاع المحيط.

يعني ارتفاع 130 متراً خلال 14000 عام أن كثيراً من صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي ليس مدعماً باليابسة. وإن نحو ثلثي صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي انهار في المحيط. وسيتطلب الثلث الآخر حوالى 7000 عام من الذوبان المشابه الذي سيحدث ارتفاعاً في مستوى سطح البحر مقداره سبعة أمتار[1615].

إن هذا، في الحقيقة، معدل بطيء جداً لتغير مستوى سطح البحر. ويدعم هذا الاستنتاج دراسة أخرى بيّنت أن ذوباناً جليدياً بسبب الحرارة «المرتفعة» في القرن العشرين يقدر بتغير لتغير مقداره 10 سنتيمترات فقط في مستوى سطح البحر في القرن[1616]. وكانت تغيرات مستوى سطح البحر التي سبّبتها العصور المظلمة، واحترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير منذ عام 800، ضمن 1.5 ± 0 ملليمتر في العام مع متوسط قريب من الصفر[1617]. ولم يتغير مستوى سطح البحر تغيراً أساسياً في بعض المناطق. وإن الخط الساحلي لبحر تشوكتشي (Chukchi Sea) شمال غرب ألاسكا مستقر جيولوجياً، وقد ارتفع مستوى سطح البحر 0.025 سنتيمتر في العام خلال السنوات الـ 6000 التي خلت. وتشمل قياسات مستوى سطح البحر شكوكاً كبيرة، ولا نعرف لماذا يمكن للمستوى أن يرتفع أو ينخفض ضمن معدلات سريعة[1618].

ليست تغيرات مستوى سطح البحر ومعدل حرارة مياه المحيط أمراً بسيطاً يُعرّف بمؤثر وأثر. وإذا كان ارتفاع مستوى سطح البحر فقط بسبب الاتساع الحراري للمحيطات وبسبب مجلدات ذائبة، فسيتطلب ذلك المزيد من الوقت لرفع حرارة المحيطات، وإذا كنا نشهد ارتفاعاً لمستوى سطح البحر، فإنه

(1615) J. Stone [et al.], «Holocene Deglaciation of Marie Byrd Land, West Antarctica,» *Science*, vol. 299 (2003), pp. 99-102.

(1616) W. Munk, «Ocean Freshening, Sea Level Rising,» *Science* 300 (2003L), pp. 2014-2043.

(1617) M. Ekman, «Climate Changes Detected through the World's Longest Sea Level Series,» *Global and Planetary Change*, vol. 21 (1999), pp. 1215-1224.

(1618) S. J. Holgate, «On the Decadal Rates of Sea Level Change during the Twentieth Century,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L01602, doi: 10.1029/2006GL028492.

سيكون، على الأغلب بسبب الاحترار الروماني أو احترار العصور الوسطى أو ارتداداً من العصر الجليدي الصغير، غير أنه ليس بسبب العمليات المعاصرة بالتأكيد.

لقد كان مستوى سطح البحر في وسط منطقة المتوسط خلال الأزمنة الرومانية أخفض من الآن بنحو 1.4 متر[1619]. ولا يغير ذوبان جليد البحر من مستوى سطح البحر[1620]، وإنما يستطيع ذوبان الجليد الأرضي أن يرفع مستوى سطح البحر فقط. ومرة أخرى، هذه عملية تتطلب وقتاً طويلاً.

هناك كلام يقول إن مستوى سطح البحر سينخفض ولن يرتفع. وقد أصبحت المحيطات أعمق وانخفض مستوى سطح البحر بنحو 170 متراً منذ 80 مليون عام، وقد يتبع ذلك انخفاض إضافي مقداره 120 متراً خلال ثمانين مليون عام مقبلة[1621]. وباستعمال مقاربة كيمياء نظيرية (Isotop Chemistry)، ظهر أن مستوى سطح البحر كان خلال فترة 550 مليون عام ينخفض نتيجة لزيادة عمق المحيطات[1622]. وتم تسجيل 172 دورة لمستوى سطح البحر على الأقل بين 542 و251 مليون عام مضت[1623]، وهي تختلف في مقدارها من 10 إلى 125 متراً[1624]، وترك الارتفاع والانخفاض الثابتان لمستويات البحار عبر الزمن دورات من الصخور الانخسافية التي يمكن استعمالها لتبيان إن كان خط الساحل يتقدم أو يتراجع نحو اليابسة[1625].

هناك قلق من أن تقع دول الجزر المرجانية في المحيط الهادي ضحية لارتفاع مستوى سطح البحر، وذلك لأن قاع المحيط والجزر المرجانية

(1619) K. Lambeck [et al.], «Sea Level in Roman Time in the Central Mediterranean and Implications for Recent Change,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 224 (2004), pp. 563-575.

(1620) نظرية أرخميدس.

(1621) D. Müller [et al.], «Long-Term Sea-Level Fluctuations Driven by Ocean Basin Dynamics,» *Science*, vol. 319 (2008), pp. 1357-1362.

(1622) J. F. Kastings [et al.], «Paleoclimates, Ocean Depth, and the Oxygen Isotopic Composition of Seawater,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 252 (2006), pp. 82-93.

(1623) فترة الباليوزويك (Palaeozoic Era).

(1624) B. U. Haq and S. R. Schutter, «A Chronology of Paleozoic Sea-Level Changes,» *Science*, vol. 322 (2008), pp. 64-68.

(1625) P. R. Vail and R. M. Mitchum, «Global Cycles of Relative Changes of Sea Level from Seismic Stratigraphy,» *American Association of Petroleum Geologists Memoir*, vol. 29 (1979), pp. 469-472.

تنخفض. وهذا الانخفاض في مستوى سطح البحر طويل الأمد يتوافق مع أبحاث أخرى[1626][1627]. ويقرأ الجيولوجيون دائماً الصخور لتحديد تغير مستوى سطح البحر والبيئات القديمة. إن مرتفعات طويلة الأمد في مستوى سطح البحر وانخفاضاتها أساسية لفهم مستقبل الأحواض البحرية لاستكشاف النفط[1628][1629].

لقد توقعت IPCC عام 1990 أن الاحترار الذي يسبّبه الإنسان سينتج منه ارتفاع في مستوى سطح البحر بحلول عام 2100 مقداره 66 سنتيمتراً مع مدى كامن من 30 إلى 100 سنتيمتر[1630]. كما توقعت عام 1996 بارتفاع في مستوى سطح البحر بحلول عام 2100 مقداره 49 سنتيمتراً مع مدى من 13 إلى 94 سنتيمتراً. وفي عام 2001، توقعت المنظمة نفسها أن ارتفاع مستوى سطح البحر سيكون من 9 إلى 88 سنتيمتراً[1631] وفي عام 2007، تم التوقع بارتفاع من 18 إلى 59 سنتيمتراً. وضمن هذا الأمد من التوقعات المتغيرة، يبدو أنه يجب أن ننتظر بضع سنوات، وسيكون توقع IPCC لا وجود له! ولو نظرت IPCC إلى التاريخ الجيولوجي، لكانت توقعاتها مختلفة جداً.

إن عمر الاتحاد الدولي للأبحاث الفصلية (The International Union for Quaternary Research) حوالى 80 عاماً، ويتعامل مع المليوني عام الأخيرة من التغير المناخي والبيئي. ويقول الرئيس السابق لوكالة مستوى سطح البحر أنه ليس هناك اتجاه منتظم في مستوى سطح البحر خلال السنوات الـ 300

(1626) W. C. Pitman III, «Relationship between Eustacy and Stratigraphic Sequences of Passive Margins,» *Geological Society of America Bulletin*, vol. 89 (1978), pp. 1389-1403.

(1627) X. Q. Xu, C. Lithgow-Bertelloni and C. P. Conrad, «Global Reconstructions of Cenozoic Seafloor Ages: Implications for Bathymetry and Sea Level,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 243 (2006), pp. 552-564.

(1628) A. B. Watts and J. A. Thorne, «Tectonics, Global Changes in Sea Level and their Relationship to Stratigraphic Sequences at the US Atlantic Continental Margin,» *Marine and Petroleum Geology*, vol. 1 (1984), pp. 319-339.

(1629) B. U. Haq, J. Hardenbol and P. R. Vail, «Chronology of Fluctuating Sea Levels Since the Triassic,» *Science*, vol. 235 (1987), pp. 1156-1167.

(1630) R. A. Warwick and J. Oerlemans, «Sea Level Rise,» in: J. H. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephron, eds., *Climate Change: The IPCC Assessment* (New York: Cambridge University Press, 1990).

(1631) Intergovernmental Panel on Climate Change, *Third Assessment Report* (New York: Cambridge University Press, 2001).

الماضية، وأن مقياس بعد الأقمار الاصطناعية يبيّن عملياً عدم وجود تغير خلال العقد الماضي[1632]. وتقول IPCC إن ارتفاع مستوى سطح البحر سيكون ضمن مدى 0.09 إلى 0.88 متر بين 1990 و2100، بينما تقول وكالة مستوى سطح البحر إن ارتفاع مستوى سطح البحر سيكون 10 ± 10 سنتيمترات خلال الفترة نفسها، مما يدل على أن ارتفاعاً بينيّاً في مستوى سطح البحر لا يمكن توقعه. وتتوقع وكالة الحماية البيئية الأميركية بفرصة 50 في المئة لارتفاع مستوى سطح البحر 45 سنتيمتراً بحلول عام 2100، وفرصة 1٪ لارتفاع مستوى سطح البحر 110 سنتيمترات بحلول 2100[1633]. وإذا استعملنا الماضي لمحاولة فهم الحاضر والمستقبل، فليس لدينا سبب لتوقع تغير بارز كهذا في مستوى سطح البحر في المستقبل القريب.

كان متوسط درجة حرارة سطح البحر خلال الفترة ما بين الجليدية الماضية (قبل 130000 ـ 116000 عام) أدفأ على الأقل بدرجتين مئوية من الآن[1634]. وكان متوسط ارتفاع مستوى سطح البحر من 4 إلى 6 أمتار أعلى من الآن[1635][1636][1637]. واستعملت هذه الأرقام لتحليل آثار ارتفاع مستوى سطح البحر ما بين الجليدي الحديث[1638]. وكان معدل ارتفاع مستوى سطح البحر 1.5 إلى 2.5 متر في القرن قبل 123500 عام، بينما كان معدل انخفاض مستوى سطح البحر قبل 119000 عام 1.3 إلى 1.6 متر في القرن. وكان متوسط ارتفاع

(1632) N. A. Morner, «Estimating Future Sea Level Changes from Past Records,» *Global and Planetary Change*, vol. 40 (2004), pp. 49-54.

(1633) U. S. Environmental Protection Agency, *Global Warming-Climate, Sea Level*, <http:// yosemite.epa.gov/oar/globalwarming/nsf/content/ClimateFutureClimateSea.level.html>.

(1634) B. L. Otto-Bliesner, «Simulating Arctic Climate Warmth and Icefiled Retreat in the Last Interglaciation,» *Science*, vol. 311 (2006), pp. 1751-1753.

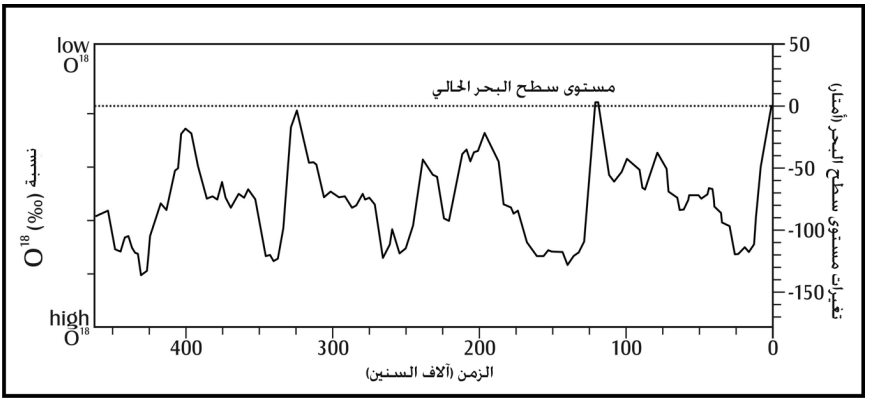
(1635) M. T. McCulloch and T. Esat, «The Coral Record of Last Interglacial Sea Levels and Sea Surface Temperatures,» *Chemical Geology*, vol. 169 (2000), pp. 107-129.

(1636) C. H. Stirling [et al.], «Timing and Duration of the Last Interglacial: Evidene for a Restricted Interval of Widespread Coral Growth,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 160 (1998), pp. 745-762.

(1637) A. C. Neumann and P. J. Hearty, «Rapid Sea-Level Changes at the Close of the Last Interglacial Period: ^{234}U-^{230}Th Data from Fossil Coral Reefs in the Bahamas,» *Bulletin of the Geological Society of America,* vol. 103 (1996), pp. 82-97.

(1638) E. J. Rohling [et al.], «High Rates of Sea-Level Rise during the Last Interglacial Period,» *Nature Geosciene,* vol. 1 (2008), pp. 38-42.

مستوى سطح البحر خلال الفترة ما بين الجليدية الحالية خلال السنين الـ 14000، متراً واحداً في القرن. وهذا أكثر قليلاً من أسوأ سيناريو لارتفاع مستوى سطح البحر الذي توقعته IPCC. وإذا ارتفع مستوى سطح البحر متراً واحداً بحلول عام 2100، فهذا هو تماماً ما يتوقع من معدل ارتفاع مستوى سطح البحر ما بعد الجليدي الحالي. وتبيّن نماذج كمبيوتر IPCC الخاصة أن توقعهم بارتفاع مستوى سطح البحر ربما لا يكون بسبب إضافات الإنسان المتزايدة للـ CO_2 في الغلاف الجوي، وإنما بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر ما بعد الجليدي المستمر.



الشكل 32: مستوى سطح البحر العالمي خلال الـ 450,000 عام الماضية محسوبة من نظائر الأكسجين[1639]، مبيّنةً مستويات سطح بحر عليا في فترات ما بين جليدية ومستويات سطح بحر منخفضة خلال التجلد. وبانسياب مستوى سطح البحر بكثرة خلال الفترة الجليدية، وكان مستوى سطح البحر خلال الفترة ما بين الجليدية الأخرى سبعة أمتار أعلى من اليوم. وإن مستواه الحديث أعلى وأخفض من الفترات ما بين الجليدية السابقة. وليس هناك أمر غير عادي عن مستوى سطح البحر الحديث أو تغير مستواه.

يجب وضع ارتفاع مستوى سطح البحر بمقدار متر واحد في القرن خلال السنين الـ 14000 الأخيرة في سياقه. فمعظم هذا الارتفاع في مستوى سطح البحر كان بين 14000 و8000 عام مضت. وكان مستوى سطح البحر قبل 8000 عام، أخفض بثلاثة أمتار من الآن، ووصل مستواه سطح البحر إلى وضعه

(1639) J. Imbrie and K. P. Imbrie, *Ice Ages* (Short Hills, NJ: Enslow Publishers, 1979).

الحالي قبل 7700 عام. وهذا يعني أن مستوى سطح البحر ارتفع بمقدار مترين اثنين في القرن خلال تلك الفترة. واستمر مستوى سطح البحر بالارتفاع، وقبل 7400 عام ماضية، كان مستوى سطح البحر على الأقل 1.5 متر أعلى من اليوم، وتبع ذلك مستوىً مستقرٌ وعالٍ للبحر استمر حتى ما قبل 3000 أو 2000 عام مضت[1640]. وقد انخفض مستوى سطح البحر خلال السنين الـ 3000 الماضية.

من المعروف في الكتابات الجيولوجية لأكثر من قرنين أن مستوى سطح البحر يرتفع وينخفض بسرعة ضمن مدى محلي وعالمي لأسباب متنوعة كثيرة. وكان ارتفاع مستوى سطح البحر وانخفاضه خلال الـ 6000 عام، بين مترين إلى أربعة أمتار خلال فترات من عدة عقود أمراً شائعاً[1641][1642][1643]. وكانت التغيرات عالمية وإقليمية[1644]، وتبيّن مقارنات لمناطق منتشرة تغيراً سريعاً ومتزامناً لمستوى سطح البحر[1645]. وتبيّن دراسات لجزر مقابلة في أماكن أخرى، أن بعضها يرتفع وآخر ينخفض[1646]. ويتطلب نموذج تغير المناخ نظاماً ثابتاً ليمكن وضع متغير الـ CO_2 من صنع الإنسان فيه. ويبيّن تاريخ تغيرات مستوى سطح البحر أن عمليات السطح غير مستقرة، وأن الـ CO_2 الجوي ليس قوةً مفقدة للاستقرار[1647].

(1640) C. R. Sloss, C. V. Murray-Wallace and B. G. Jones, «Holocene Sea-Level Change on the Southeast Coast of Australia: A Review,» *The Holocene*, vol. 17 (2007), pp. 999-1014.

(1641) R. W. Fairbridge, «Dating the Latest Movements in the Quaternary Sea Level,» *New York Academy of Science Transactions*, vol. 20 (1958), pp. 471-482.

(1642) R. W. Fairbridge, «The Changing Level of the Sea,» *Scientific American*, vol. 202 (1960), pp. 70-79.

(1643) R. W. Fairbridge, «Eustatic Changes in Sea Level,» in: L. H. Ahrens [et al.], eds., *Physics and Chemistry of the Earth* (London: Pergamon Press, 1961), pp. 99-185.

(1644) R. G. V. Baker, R. J. Haworth and P. G. Flood, «Warmer or Cooler Late Holocene Marine Palaeoenvironemnts?: Interpreting Southeast Australian and Brazilian Sea-Level Changes Using fixed Biological Indicators and their ∂O^{18}Composition,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, vol. 168 (2001), pp. 249-272.

(1645) R. G. V. Baker, R. J. Haworth and P. G. Flood, «Inter-Tidal Fixed Indicators of Former Holocene Sea Levels in Australia: A Summary of Sites and a Review of Methods and Models,» *Quaternary International*, vols. 83-85 (2001), pp. 257-273.

(1646) P. D. Nunn [et al.], «Late Quaternary Sea-Level and Tectonic Changes in Northeast Fiji,» *Marine Geology*, vol. 187 (2002), pp. 299-311.

(1647) R. G. Baker, J. Haworth and P. G. Flood, «An Oscillating Holocene Sea-Level? Revisiting Rottnest Island, Western Australia and the Fairbridge Eustatic Hypothesis,» *Journal of Coastal Research*, vol. 42 (2005), pp. 3-14.

الجزر المرجانية

تبيّن سجلات الأحفوري المرجانية أنه عندما كان العالم يشهد طقساً دافئاً، كان المحيط الهادي أبرد والعكس بالعكس. وكان المحيط الهادي دافئاً وعاصفاً خلال فترة من الطقس البارد في أماكن أخرى من العالم[1648]. وكانت الظروف في المحيط الهادي الاستوائي خلال احترار العصور الوسطى باردة، وربّما جافة. وبشكل مشابه، خلال العصر الجليدي الصغير، كان مركز المحيط الهادي دافئاً نسبياً وممطراً مع ظروف عاصفة هي أكثر شيوعاً. ويدل هذا على أن أحداث الاحترار والابتراد قد لا تكون عالمية، وأن المرجانيات أكثر مرونة مما يتصوره البعض، وتزدهر معظم المرجانيات في المياه الدافئة، وليس كلها[1649].

إن معظم الأصناف المرجانية موجودة في حاجز الشعب المرجانية الكبير (Great Barrier Reef) (أستراليا)، كما أن بيئات مناخية مشابهة موجودة في مناطق فيها مياه أدفأ بكثير[1650]. وقد نما الحاجز المرجاني خلال زمن كان فيه ارتفاع سريع لمستوى سطح البحر، وعكر (Turbidity) عال، ودرجة حرارة سريعة الارتفاع منذ العصر الجليدي الأخير[1651]. وإذا ارتفعت درجة حرارة سطح البحر وارتفع مستوى سطح البحر، فسيحافظ الحيد المرجاني على وضعه كما فعل في السابق. وهذا مخالف لنظرة الإعلام التحذيرية. وخلال الـ 500 مليون عام الماضية، عاشت المرجانيات في مياه أدفأ بكثير وأبرد بكثير من العصر الحديث. وإن سماكة نسيج المرجانيات، وهو أحد مؤشرات الصحة المرجانية، أعظم المرجانيات في المياه الأدفأ[1652]. وبعض الكثافات الأعلى للنسيج موجودة في أحياد حول بابوا غينيا الجديدة (Papua New Guinea)

(1648) M. Allen, «New Ideas about Late Holocene Climate Variability in the Central Pacific,» *Current Anthropology*, vol. 47 (2006), p. 3.

(1649) J. M. Lough and D. J. Barnes, «Environmental Controls on Growth of the Massive Coral Porites,» *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 245 (2000), pp. 225-243.

(1650) T. C. LaJeunesse [et al.], «Low Symbiont Diversity in Southern Great Barrier Reef Corals, Relative to those of the Caribbean,» *Limnology and Oceanography*, vol. 48 (2003), pp. 2046-2054.

(1651) D. Johnson, *The Geology of Australia* (New York: Cambridge University Press, 2004).

(1652) D. J. Barnes, and J. M. Lough, «Systematic Variations in the Depth of Skeleton Occupied by Coral Tissue in Massive colonies of Porites from the Great Barrier Reef,» *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, vol. 159 (1992), pp. 113-128.

حيث تكون المياه أدفأ بكثير من الحيد الحاجز المرجاني الكبير.

جرى قصر الحيود المرجانية خلال الزمن الجيولوجي، ومعظم تلك التي قصرت تعافت. وإن القصر ليس خاصاً بالسنوات الـ 25 الماضية، فهو يحدث في الصيف عندما يكون هناك مجموعة من غطاء الغيوم المنخفض والرياح الخفيفة. ويدفع هذا بحرارة المياه بضع درجات إلى الأعلى. ولم ترتفع حرارة المياه خلال السنين الـ 25 الماضية، على طول حيد الحاجز الكبير أكثر من درجة مئوية واحدة، وقد يعكس التزايد الذي قيل عنه في القصر عدد العلماء والبيئيين الذين يلاحظون هذه الظاهرة الآن.

وصفت ظاهرة القصر المرجاني كظاهرة حية لتغير المناخ الحيوي[1653]. ونقول مرةً أخرى، إن هذه النظرة الإعلامية مناقضة للعلوم المنشورة؛ فإن سجلات معدل نمو المرجانيات الكبيرة تظهر تزايداً قليلاً، غير أنه مهم خلال السنوات المئة الماضية. ويتعلق هذا بتزايد درجة الحرارة الضئيل والمهم الذي حدث في ما بعد العصر الجليدي الصغير منذ أواخر القرن التاسع عشر حتى اليوم. وهذا ليس مفاجئاً إذ إن معظم المرجانيات تحب الدفء.

تقتل بعض أنواع المرجان بدرجات حرارة مرتفعة غير عادية. وهذه ليست المرجانيات طويلة العمر الكثيرة وإنما هي المرجانيات المسطحة (Plate and Staghorn Corals). ولهذه المرجانيات الرقيقة الخاصة فلسفة الأعشاب الضارة (أي أن تعيش بسرعة وتموت صغيرة). إن المرجانيات الكثيفة مثل شجرة غابة عملاقة وتعيش لمئات السنين، ويمكنها بالتالي أن تصمد في الظروف الشديدة من درجات الحرارة العليا والأعاصير التي تدمر مؤقتاً أبناء عمومتها من الضعاف الذين ينمون بسرعة. تعتمد المرجانيات الضعيفة حيلة طورتها لمقاومة ظروف الحرارة الأعلى، وهي تبديل كائناتها التكافلية[1654] المطمورة مع مقيم (Resident) جديد أكثر ملاءمة للظروف المتغيرة[1655]. وتهاجر المرجانيات إذا ارتفعت درجة الحرارة.

(1653) <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/4772715.stm>.

(1654) Zooxanthellae.

(1655) M. Kuehl [et al.], «Microenvironment and Photosynthesis of Zooxanthellae in Scleractinian Corals Studied with Microsensors for O sub(2), pH and Light,» *Marine Ecology Progress Series*, vol. 117 (1995), pp. 159-172.

قال تشارلز ليل (Charles Lyell)[1656] في عام 1830، إن الجزر المرجانية تنمو في رأس البراكين الغاطسة، وهذه فكرة صادق عليها تشارلز داروين بعد بضع سنوات[1657]. واستلم داروين المجلد الأول من كتاب ليل عام 1830 وأخذه معه في السفينة (HMS Beagle) وأُرسل المجلدان الآخران إليه لاحقاً، أصبح داروين معجباً بالحيود المرجانية، وقال إن شكل الخاتم الدائري الشائع للجزر المرجانية كان بسبب تكون البراكين الغارقة القديمة حول الإطار الدائري. وسمحت رحلة داروين له بالنظر إلى جزر بركانية كثيرة، وحيود بحرية وجزر مرجانية.

قال داروين إن حجر الكلس المرجاني في الجزيرة المرجانية قد تكون سماكته نحو 180 متراً. وفي كتابه **بنية الحيود المرجانية وتوزيعها** (*The Structure and Distribution of Coral Reefs*) الذي صدر عام 1842، بيّن داروين[1658] أن البراكين كانت ضمن مرتفعات متعددة فوق قاع البحر. وإذا انخفض مستوى سطح البحر أو ارتفع بركان من قاع البحر، يلصق المرجان نفسه بالبركان، فقط ليقتل بعد التعرض المتأخر للهواء.

وكان لفانواتو (Vanuato)، على سبيل المثال، الكثير من الحيود المرجانية الميتة فوق مستوى سطح البحر بسبب ارتفاع البركان المحلي[1659][1660][1661]، وهذه ميزة يمكن رؤيتها في أجزاء كثيرة من العالم (على سبيل

(1656) C. Lyell, *Principles of Geology, being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface, by Referene to Causes Now in Operation* (London: John Murray, 1837).

(1657) C. Darwin, «On Certain Areas of Elevation and Subsidence in the Pacific and Indian Oeans, as Deduced from the Study of Coral Formations,» *Proceedings of the Geological Society of London*, vol. 2 (1837), pp. 552-554.

(1658) C. Darwin, *The Structure and Distribution of Coral Reefs* (New York: D. Appleton and Co., 1842)

(1659) G. Neef, and H. H. Veeh, «Uranium Series Ages and Late Quaternary Uplift in the New Hebrides,» *Nature*, vol. 269 (1977), pp. 682-683.

(1660) G. Neef and C. Hendry, «Late Pleistocene-Holocene Acceleration of Uplift Rate in Southwest Erromango Island, Southern Vanuatu, South Pacific: Relation to the Growth of the Vanuatuan Mid Sedimentary Basin,» *Journal of Geology*, vol. 96 (1988), osti: 7036330.

(1661) G. Cabioch and L. K. Ayliffe, «Raised Coral Terraces at Malakula, Vanuatu, Southwest Pacific, Indicate High Sea Level during Marine Isotope Stage 3a,» *Quaternary Research*, vol. 56 (2001), pp. 357-365.

المثال، إندونيسيا[1662]، وبابوا غينيا الجديدة[1663]، وباربادوس[1664].

عندما يرتفع مستوى سطح البحر، تغرق البراكين في وسط المحيط، وينمو المرجان قدماً على نحو عمودي وأفقي. وينمو المرجان إلى عمق تصل ذروته عند 40 متراً. ويكوّن المرجان الذي ينمو على براكين غارقة جزراً مرجانية. وينتج ارتفاع مستوى سطح البحر، أو غرق الجزر البركانية جزراً مرجانية، ولا يدمرها. وبيّن داروين هذا عام 1842.

ثقب البروفيسور إدجورث دايفد (Professor Sir T. W. Edgeworth) جزراً مرجانية في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين لاختبار نظرية داروين. بدأ دايفد عام 1897 برنامج تثقيب في جزيرة فونافوتي (Funafuti) (جزء من توفالو «Tavalo» الآن). وبعد عدد من المحاولات خلال العقد التالي، بلغ التثقيب نحو 340 متراً إلا أنه ظل ضمن حجر الكلس المرجاني. وقال دايفد إن نظرية داروين عن الحيود المرجانية قد أبرمت وصودق عليها. وثقب علماء من اليابان في عام 1934، ثقوباً بلغت عمق 431.7 متراً في جزيرة كيتا دايتو، شرق أوكيناوا. كما ثقبوا حجر الكلس المرجاني ولم يصلوا إلى بركان بازلتي.

وكان هناك اهتمام باستعمال الجزر المرجانية كمكان لاختبار القنابل الذرية بعد الحرب العالمية الثانية، وتم تثقيب جزيرتي بيكيني وإينيوتاك (Bikini and Eneutak) في جنوب المحيط الهادي. وتم الوصول إلى بركان بازلتي في عام 1952، في عمق أكثر من 1300 متر، ضمن ثقبين[1665]. وعلى الرغم من مجموعة الترسبات السريعة لبراكين المحيط البازلتية وارتفاع مستوى سطح البحر 130 متراً خلال الـ 14,000 عام الماضية، لم تقتل الحيود المرجانية في جنوب المحيط الهادي. واستمرت بالنمو. وتمّت المصادقة الآن على نظرية داروين للجزر المرجانية بعد أكثر من 170 عاماً من العلوم المتفرعة المستقلة.

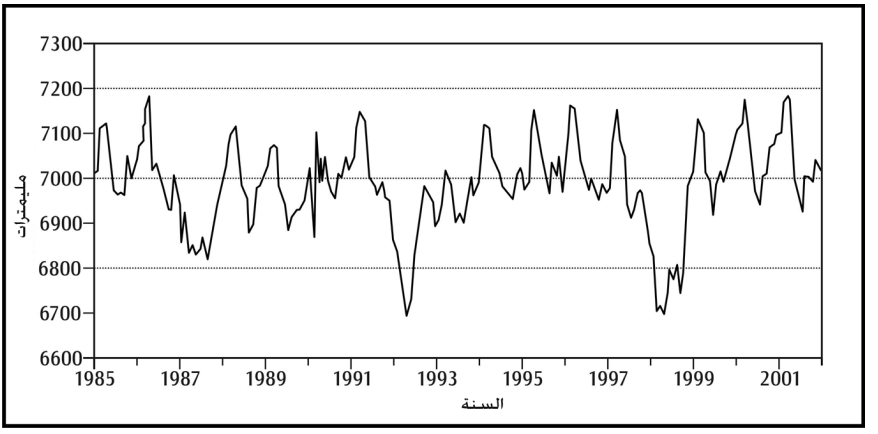
(1662) E. Bard [et al.], «Pleistocene Sea Levels and Tectonic Uplift Based on Dating of Orals from Sumba, Indonesia,» *Geophysical Research Letters*, vol. 23 (1996), pp. 1473-1476.

(1663) J. Chappell [et al.], «Reconciliation of Late Quaternary Sea Levels Derived from Coral Terraces at Huon Peninsula with Deep Sea Oxygen Isotope Records,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 80 (1996), pp. 241-251.

(1664) M. L. Bender [et al.], «Uranium-Series dating of the Pleistocene Reef Tracts of Barbados, West Indes,» *Geological Society of America Bulletin,* vol. 90 (1979), pp. 577-594.

(1665) D. Branagan, *T. W. Edgeworth David: A Life* (Australia: National Library of Australia, 2005).

كان القلق الشائع هو أن سكان الجزيرة المرجانية في المحيط الهادي في توفالو سيغرقون نتيجة للارتفاع الحديث لمستوى سطح البحر. وقيل في الإعلام الشعبي إن ارتفاع مستوى سطح البحر هذا قد سبّبه إصدار الإنسان الـ CO_2 إلى الغلاف الجوي الذي يحدث احتراراً كونياً ينتج منه ذوبان للجليد وارتفاع مستوى سطح البحر. وربما كان إغراق المد والجزر المتقطع لتوفالو يتعلق بأمر آخر، مثل تفجير ميناء حربي، واقتلاع (Quarrying) كميات كبيرة من حجر الكلس المرجاني ولمسافة كيلومترين مترين في عملية بناء مهبط للطائرات في الحرب العالمية الثانية، واقتلاع حجر الكلس المرجاني لتشييد الطرق، والانخساف بسبب استخراج المياه العذبة التحتية، والانخساف بسبب رصّ الرمل المرجاني، والانخساف بسبب ضغط السير (Traffic)، وقد جلب ضخ المياه الجوفية الزائد مياه البحر إلى المكامن الصخرية المائية. فلا تتعلق مشكلات توفالو بتغير المناخ العالمي، وإنما بعوامل فوقية، ولا إلى حقيقة أن قاع المحيط الهادي يغرق. هذا وتغرق أحياناً البراكين البحرية المغطاة بالجزر المرجانية ضمن معدل فوق عادي، بحيث يفشل النمو العلوي للمرجانيات في المحافظة على تكيفه. وينتج من هذه ما يسمى بالتيجان المرجانية (Coral-Capped Guyots) الموائد البحرية المغطاة بالمرجان، ميزة طوبوغرافية شائعة عند قاع المحيط الهادي.



الشكل 33: قياسات شهرية لمستوى سطح البحر في فونافوتي، توفالو، من 1985 ـ 2002 مبيّنةً تغيّرات دورية نسبية في مستوى سطح البحر، ولكن لا تغيّر مطلقاً في المستوى[1666]. وليس هناك دلائل تقترح أن توفالو تغرق بتغير مستوى سطح البحر الحديث.

(1666) USLC (Record A_m).

وتم التعبير عن قلق مماثل في الإعلام الشعبي عن شعب جزر مرجانية أخرى. ويقال لنا إن جزر المالديف (Maldives) ستغرق نتيجةً لارتفاع مستوى سطح البحر الذي تسببه إضافات الإنسان للـ CO_2 في الغلاف الجوي. فهل سيحصل ذلك؟ إن جزر المالديف، وهي مجموعة من 1200 جزيرة في المحيط الهندي، مرتفعة بين متر إلى مترين فوق مستوى سطح البحر الحالي. ويبيّن تحليل هذه الجزر في جنوب مآلهوسمادولو آتول (Maalhosmadulu Atoll) أن الجزر تشكّلت على رواسب لاغونية (Logoonal Sediments) بين 5500 و4500 عام مضت عندما كان سطح الحيد مترين ونصف المتر تحت مستوى سطح البحر[1667]. ثم ارتفع مستوى سطح البحر منذ ذلك الوقت، ووصلت الجزر إلى أبعادها الحالية قبل 4000 عام خلال فترة 1500 عام من التراكم السريع. وعلى امتداد الـ 4000 عاماً الماضية تعرّض الارتفاع الخارجي لتغيرات دعامية موسمية وطويلة الأمد، بينما نما الحيد الخارجي نحو الأعلى، مقللاً من نافذة الطاقة ومقيّداً الجزر. ثم ارتفع المحيط قبل 3900 عام فوق مستوى سطح البحر الحديث من 1.1 متر إلى 1.2 متر بعد مناخ دافئ جداً. هذا، وكانت جزر المالديف أعلى قبل 2700 عام بـ 0.1 إلى 0.2 متر من الآن، وكان مستوى سطح البحر خلال احترار العصور الوسطى أعلى بـ 0.5 إلى 0.6 متر من الآن.

انخفض مستوى البحر في المالديف منذ عام 1970، 0.2 إلى 0.3 متر، وكان مستوى سطح البحر بين 1900 و1970 أعلى من اليوم[1668]. وإذا كان هناك احترار كوني بارز في أواخر القرن العشرين، وارتفاع في مستوى سطح البحر متصل به، فسوف يعاد نشاط نمو الحيد نحو الأعلى. وهذا يتوافق مع عمل داروين قبل أكثر من 150 عاماً. وخلافاً للتعليقات الشائعة على هشاشة أنظمة الحيد، فإن الجزر المرجانية مرنة جداً، وتنمو خلال فترات من ارتفاع مستوى سطح البحر. وكان مستوى سطح البحر يرتفع وينخفض نتيجة لأحداث محلية قصيرة الأمد. وفي ضوء ذلك يصعب استنتاج أن جزر المالديف ستغرق في المحيط الهندي نتيجة تغيرات درجة الحرارة الحديثة. وإن تغيرات مستوى

(1667) P. S. Kench, R. F. Mclean and S. L. Nicol, «New Model of Reef-Island Evolution: Maldives, Indian Ocean,» *Geology*, vol. 33 (2005), pp. 145-148.

(1668) N.-A. Morner, M. Tooley and G. Possnert, «New Perspectives for the Future of the Maldives,» *Global and Planetary Change*, vol. 40 (2004), pp. 177-182.

سطح البحر في الأوقات الحديثة صغيرة جداً مقارنةً بتغيراتها المتعلقة بفترات من التغير بين عصور جليدية وعصور ما بين جليدية.

لقد بيّن تثقيب حيود مرجانية في فلوريدا و«الباهاماس» وتأرخة (Dating) المرجانيات ارتفاعاً مقداره 20 متراً في مستوى سطح البحر قبل 17000 ـ 12500 عام[1669][1670]، تبع ذلك ارتفاع سريع مقداره 24 متراً قبل 12000 ـ 11000 عام، تبع ذلك انخفاض سريع لمستوى سطح البحر قبل 11000 ـ 10500 عام، وارتفع مستوى سطح البحر 17 متراً قبل 8500 ـ 6500 عام، وخلال هذا الزمن، كان هناك ارتفاع سريع في مستوى سطح البحر مقداره 6.5 أمتار قبل 7600 ـ 7200 عام. وربما كان سبب هذا الارتفاع السريع انسياب صفيحة جليد غرب القطب الجنوبي غير المستقرة، والتغيرات الإجمالية في مقدار الجليد البحري قبل 8000 ـ 6000 عام. ثم ارتفع مستوى سطح البحر قبل 6500 إلى 5000 عام ماضية 3.7 أمتار و7.5 أمتار أخرى خلال السنين الـ 5000 الماضية. وإن الارتفاع متغير جداً. كما ارتفع مستوى سطح البحر خلال الأزمنة ما بعد الجليدية بمقدار 9.5 مليمترات في العام، وتباطأ قبل نحو 9000 عام، إلى 1.25 ملليمتر في العام. وكان أعلى معدل لارتفاع مستوى سطح البحر 45 مليمتراً في العام للفترة بين 7600 وإلى 7200 عام خلت. وإن هذه التغيرات في فلوريدا والباهاماس هي مجموعة من تغيرات محلية وعالمية لمستوى سطح البحر، وهي تختلف عن دراسات محلية وعالمية لمستوى سطح البحر في مناطق أخرى[1671].

لم تقتل ارتفاعات مستوى سطح البحر العديدة، والمعدلات السريعة جداً للتغير في مستواه، الحيود المرجانية. وعندما ارتفع مستوى سطح البحر بسرعة (وصولاً إلى 45 ملليمتراً في العام) خلال ذوبان صفيحة الجليد ما بعد الفترة الجليدية، وكسر سدود المياه المنصهرة، غرقت الحيود المرجانية، ولكنها لم تمت[1672]. ويبيّن

(1669) G. Digerfeldt and M. D. Hendry, «An 8,000 Year Holocene Sea-Level Record from Jamaica: Implications for Interpretation of Caribbean Reef and Coastal History,» *Coral Reefs*, vol. 5 (1987), pp. 165-169.

(1670) A. C. Neimann and P. J. Hearty, «Rapid Sea-Level Changes at the Close of the Last Interglacial (Substage 5) Recorded in Bahamian Island Geology,» *Geology,* vol. 24 (1996), pp. 775-778.

(1671) C. R. Sloss, C. V. Murray-Wallace and B. G. Jones, «Holocene Sea-Level Change on the Southeast Coast of Australia: A Review,» *The Holocene*, vol. 17 (2007), pp. 999-1014.

(1672) M. A. Toscano and J. Lundberg, «Early Holocene Sea-Level Record from Submerged Fossil Reefs on the Southeast Florida Margin,» *Geology*, vol. 26 (1998), pp. 255-258.

سجل مستمر وكامل لنمو الحيد المائي خلال الأزمنة ما بعد الجليدية (من قبل 14000 عام حتى الآن) أن الحيود المرجانية لم تقتل بارتفاع مستوى سطح البحر الذي كان أسرع بكثير من أي شيء مسجل حتى اليوم[1673][1674].

CO_2 المذاب في مياه البحر

إن للمحيطات سعة تخزينية واسعة للـ CO_2 هي أكبر من سعة الغلاف الجوي أو النباتات. وتحتوي المحيطات على ثمانين ضعفاً من CO_2 أكثر مما يحتويه الغلاف الجوي ما يوفر فهماً أفضل لكمية CO_2 السطحي بالقياس إلى الغلاف الجوي. ويوجد في الغلاف الجوي نحو 0.001 في المئة من كل الكربون الموجود في نظام قشرة الأرض ـ الغلاف الجوي. وتزيل المحيطات باستمرار الـ CO_2 لتشكل ترسبات كربونية تؤول إلى صخور كربونية. وتحوي الصخور الكربونية كمية من CO_2 تزيد 40000 مرة على ما يحتويه الغلاف الجوي. وتحوي التربة كمية من الكربون تفوق كل المادة الكربونية الموجودة في الأحياء. وتغطي مساحة سطح المحيطات نحو 70 في المئة من مساحة سطح كوكب الأرض برمّته، فتوفر مساحة سطحية كبيرة لامتصاص الـ CO_2. كما تضخ الرياح CO_2 في مياه البحر[1675]. وإن ذوبانية CO_2 في المياه هي ذوبانية معكوسة. تذوب مواد كثيرة في الماء (على سبيل المثال، الملح، والسكر)، كلما كانت المياه أدفأ. ومع CO_2، يكون الحال معكوساً، فكلما كانت المياه أبرد، أمكن لمزيد من CO_2 أن يذوب، وكلما كان الضغط أعلى، أمكن لمزيد من CO_2 أن يذوب.

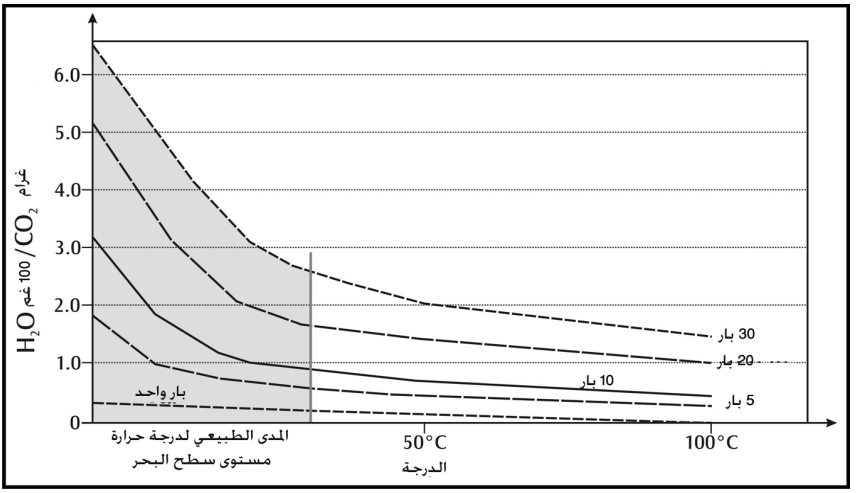
إن متوسط درجة الحرارة الكونية طويلة الأمد هو 15 درجة مئوية. وفي هذه الدرجة ويمكن لمياه البحر أن تذيب كميتها المناسبة من CO_2. وبدرجة 15 مئوية تمتص مياه البحر 19 في المئة أكثر من حجم CO_2 الخاص بها، بينما

(1673) M. A. Toscano and J. Lundberg, «Submerged Late Pleistocene Reefs on the Tectonically- Stable S. E. Florida Margin: High-Precision Geochronology, Stratigraphy, Resolution of Substage 5a Sea-Level Elevation, and Orbital Forcing,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 18 (1999), pp. 753-767.

(1674) K. R. Ludwig [et al.], «Sea-Level Records at Approximately 80 ka from Tectonically Stable Platforms; Florida and Bermuda,» *Geology*, vol. 24 (1996), pp. 211-214.

(1675) S. D. Smith and E. P. Jones, «Evidence of Wind-Pumping of Air-Sea Gas Exchange Based on Direct Measurements of CO_2 Fluxes,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 90 (1985), pp. 869-875.

تمتص 12 في المئة أقل من حجمها الخاص من CO_2 عند درجة عشرين مئوية[1676]. ويدعم هذا بالترابط الوطيد بين متوسط درجة حرارة سطح البحر الكونية ومقدار الـ CO_2 في الهواء.



الشكل 34: تبيّن منحنيات ذوبانية CO_2 أن المياه الباردة الموجودة تحت ضغط عال (على سبيل المثال، مياه قاع المحيطات) تذوب فيها كميات كبيرة من CO_2. ومع ذلك فهي في حالة دون إشباع، ويمكنها اقتناص كميات كبيرة من CO_2 الصادر عن براكين بحرية، بينما مياه السطح الدافئة مشبعة تقريباً بـ CO_2. وإن للمحيطات سعة كبيرة لامتصاص CO_2 وإصداره، وكل زيادة صغيرة في حرارة المحيط وضغطه لهما أثر رئيسي في ذوبانية الـ CO_2.

في المناطق القطبية تمتص مياه السطح الباردة مزيداً من CO_2 أكثر من أي مكان آخر. وتحمل هذه المياه إلى المناطق القطبية ضمن تيارات باردة كثيفة تحتية، وتعلو إلى السطح مصدرةً CO_2 عندما تدفأ. ويحدث نحو 70 في المئة من تفكك الغاز (Degassing) في المحيط هكذا (مضخة ذوبانية تحركها الحرارة)، ويستهلك 30 في المئة من الغاز الآخر بالحياة (الضخ البيولوجي)[1677]. إن دور البكتريا تحت السطح غير معروف وليس مجزّءاً إلى أرقام كهذه. وإذا أزيلت هذه العمليات البيولوجية، يرتفع مستوى CO_2 الجوي

(1676) L. Endersbee, «Carbon Dioxide and the Oceans,» *Focus*, vol. 151 (2008), pp. 20-21.

(1677) T. Volk and Z. Liu, «Controls of CO_2 Sources and Sinks in the Earth Scale Surface Ocean: Temperature and Nutrients,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 2 (1988), pp. 73-89.

خمس مرات[1678]. ويمكن لتغير خفيف في مقدار الكائنات العائمة في المحيطات أو البكتريا تحت أقدامنا أن يسبب تغيرات أكثر بكثير من كل CO_2 الداخل إلى الغلاف الجوي.

بإمكان مياه البحر أن تذيب في عمق 10 أمتار ضعف حجمها من الـ CO_2، ويزداد هذا المقدار مع انخفاض درجة الحرارة وتزايد الضغط. وتحوي مياه البحر الباردة الموجود تحت ضغط عال أسفل المحيطات مقداراً كبيراً من CO_2 ويمكن أن تذيب المزيد. وإذا ارتفعت المياه إلى السطح، يصدر CO_2. ونرى العملية نفسها مع المشروبات الغازية المشبعة بالهواء. فعندما يرفع الضغط، (على سبيل المثال، عند فتح القنينة أو العلبة)، تظهر فقاعات CO_2 وتستمر بالارتفاع حتى يدفأ المشروب وتصل حرارته إلى درجة حرارة الغرفة.

إن تبادل CO_2 بين الغلاف الجوي والمحيط المائي معروف جيداً[1679][1680]، ويمكن حساب حد أعلى لمدى ارتفاع تركيز CO_2 في الغلاف الجوي إذا احترق كل الوقود الأحفوري الموجود في كل الكوكب. ويحتاج الغلاف الجوي أن يزود بـ 51 ضعفاً من كمية CO_2 الحالية في الغلاف الجوي لكي يتضاعف تركيزه في هذا الغلاف بشكل دائم، ويُبقي على توازن المحيطات والغلاف الجوي. ويمكن للمقدار الكلي من الكربون في الوقود الأحفوري المعروف أن ينتج 11 ضعفاً من مقدار CO_2 في الغلاف الجوي فقط[1681]. وما لم نغيّر القوانين الأساسية للكيمياء، ونغيّر الطريقة التي تعمل بها المحيطات، فلن يبقى للإنسان وقود أحفوري كاف على الأرض لمضاعفة مقدار CO_2 بشكل دائم في الغلاف الجوي. إذا أحرَق الإنسان جميع الوقود الأحفوري الموجود خلال السنوات الـ 300 القادمة، فسيكون هناك 15 تحولاً (Turnover) لـ CO_2 بين المحيطات والغلاف الجوي، وسيُستَهلك جميع الـ CO_2 الإضافي من قبل إحياء

(1678) E. Eriksson, «Possible Fluctuations in Atmospheric Carbon Dioxide due to Changes in the Properties of the Sea,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 68 (1963), pp. 3871-3876.

(1679) R. Revelle and H. E. Suess, «Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase of Atmospheric CO_2 during the Past Decades,» *Tellus*, vol. 9 (1957), pp.18-27.

(1680) G. Skirrow, «The Dissolved Gases-Carbon Dioxide,» in: J. P. Riley and G. Skirrow, eds., *Chemical Oceanography*, 2nd ed. ([New York]: Academic Press, 1975), vol. 2.

(1681) Z. Jaworowski, T. V. Segalstad and V. Hisddal, «Atmospheric CO_2 and Global Warming: A Critical View, Second Revised Edition,» *Norsk Polarinstitutt Meddelelser,* vol. 119 (1992), pp. 1-76.

المحيط، ويترسب ككربونات كالسيوم في ترسبات قاع البحر[1682].

يضيف إحراق الوقود الأحفوري CO_2 إلى الغلاف الجوي، ويعاد بالتالي إلى المحيطات. ويحوي هذا الوقود C^{14} (مشتق من الإشعاع الكوني والقنابل النووية)، وبالتالي فإن الزيادة في C^{13} وC^{12} في مياه البحر تكون قد استعملت لحساب إضافة CO_2 الناتج من حرق الفحم والنفط[1683]. ويتجاهل هذا الحساب مساهمة CO_2 من مصادر أخرى مثل البكتريا في الصخور، وبكتريا التربة، والبراكين، والكائنات المجهرية العائمة (البلانكتون)، وحرق الخشب، والعشب، والجذامة[*] والروث. وحتى إذا تم تجاهل هذه المصادر الأخرى، فإن أصل CO_2 في الوقود الأحفوري مقيد بالقرب من سطح المحيطات، وبمجموع يوازي 3 في المئة من CO_2 في مياه السطح تلك[1684].

إن حساب كمية الـ CO_2 المذاب في المحيطات ضمن مناطق بعيدة عن خط الاستواء تكتنفه الصعوبة. ويعادل تفكيك غاز (Degassing) CO_2 من المحيطات الاستوائية، إضافةً إلى CO_2 الناتج من فعاليات الإنسان مقدار CO_2 المذاب في المحيطات القطبية. ويحدث تفريغ إضافي للغاز (Outgassing) في المحيط الجنوبي في الاتجاه S° 44 وS° 59 وبقوة في المناطق الاستوائية، مع أخذ (Uptake) قوي ضمن مناطق متوسطة البعد عن خط الاستواء، وبعيداً في النصف الشمالي للكرة الأرضية[1685].

إن نحو 85 في المئة من براكين الكوكب هي تحت بحرية وهي مسؤولة عن 75 في المئة من الحرارة المنتقلة إلى سطح الصخور المنصهرة[1686]. وتستمد مادة هذه البراكين، بما فيها CO_2، من غطاء (Mantle) الأرض. يحصل الانتقال على طول امتداد مرتفعات في منتصف المحيط تشتمل على عمليات

(1682) P. H. Abelson, «Uncertainties about Global Warming,» *Science*, vol. 247 (1990), p. 1529.

(1683) R. Key, «The Dangers of Ocean Acidification,» *Scientific American* (March 2006), pp. 58-65.

[*] الجذامة (Stubble): ما يبقى من الزرع بعد الحصد.

(1684) Jaworowski, Segalstad and Hisddal, «Atmospheric CO_2 and Global Warming: A Critical View, Second Revised Edition», pp. 1-76.

(1685) S. E. Mikaloff Feltcher [et al.], «Inverse Estimates of the Oceanic Sources and Sinks of Natural CO_2 and the Implied Ocean Carbon Transport,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 21 (2007), GB1010, doi: 10.1029/2006GB002751.

(1686) J. A. Crisp, «Rates of Magma Emplacement and Volcanic Output,» *Journal of Volcanology and Geothermal Researcch*, vol. 20 (1984), pp. 177-211.

حدثت منذ مليارات السنين[1687]. للصخور المنصهرة محتوىً عالٍ جداً من الغازات المنصهرة مثل H_2O وCO_2[1688][1689]، وعندما ترتفع الصخور المنصهرة وتبرد، تصدر كميات كبيرة من CO_2 وغازات أخرى[1690]. وقد أعطى إصدار الغاز هذا في سالف الأيام المحتوى العالي الأولي لـ CO_2 في الغلاف الجوي للأرض قبل أن تصبح النباتات والحيوانات ذات الأجزاء الصلبة متوفرة بكثرة[1691]. تنفجر البراكين الأرضية لأنها تصدر غازاً بصورة مفاجئة، بينما يوقف وزن 3 كيلومترات من المياه معظم البراكين تحت البحار المنفجرة. ويكون CO_2هو الغاز الأكثر كفاية في البراكين الغنية بالغازات.

لا يتدفق الـ CO_2 من البراكين تحت البحار من مرتفعات منتصف المحيط، ويدخل الغلاف الجوي، مثل ما يذوب في المياه الباردة العميقة. وعلى العكس تماماً، يفعل الميثان والهيليوم. تذيب المياه الباردة السفلى ذات الضغط العالي CO_2 البركاني كله، وتتشبع صهارات كثيرة من مرتفعات منتصف المحيط بـ CO_2[1692]، وإن إصدار CO_2 في المياه القاعية هو جزء من عملية الانتشار الطبيعية في قاع البحر[1693][1694][1695]. هذا وإن الطول الكلي لمراكز الانتشار

(1687) Y. Lagabrielle [et al.], «Multiple Active Spreading Centers in the Hot North Fiji Basin (Southwest Pacific): A Possible Model for Archaean Seafloor Dynamics,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 149 (1997), pp. 1-14.

(1688) E. Stolper and J. R. Holloway, «Experimental Determination of the Solubility of Carbon Dioxide in Molten Basalt at Low Pressure,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 87 (1988), pp. 397-408.

(1689) S. N. Shilobreyeva and A. A. Kadik, «Solubility of CO_2 in Magmatic Melts at High Temperatures and Pressures,» *Geochemistry International,* vol. 27 (1990), pp. 31-41.

(1690) B. Marty and L. Zimmermann, «Volatiles (He, C, N, Ar) in Mid-Ocean Ridge Basalts: Assessment of Shallow-Level Fractionation and Characterization of Source Compostion,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 63 (1999), pp. 3619-3633.

(1691) Y. Bottinga and M. Javoy, «MORB Degassing: Evolution of CO_2,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 95 (1989), pp. 215-225.

(1692) N. Jendrzejewski [et al.], «Carbon Solubility in Mid-Ocean Ridge Basaltic Melt at Low Pressures (250-1950 Bar),» *Chemical Geology*, vol. 138 (1997), pp. 81-92.

(1693) T. M. Gerlach, «Degassing of Carbon Dioxide from Basaltic Magma at Spreading Centers, II: Mid-Ocean Ridge Basalts,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 39 (1989), pp. 221-232.

(1694) N. Jendrzejewski, F. Pinean, and M. Javoy, «Water and Carbon Contents and Isotopic Compositions in Indian Ocean MORB,» *EOS*, vol. 73 (1992), p. 352.

(1695) J. E. Dixon [et al.], «An Experimental Study of Water and Carbon Dioxide Solubilities in =

البحرية يبلغ نحو 64000 كيلومتر، وبالتالي فإن كمية الـ CO_2 الصادرة هائلة[1696]، وإن الكميات الضخمة من الصخور المنصهره وتراكم الغاز، وبشكل رئيس CO_2[1697]، موجودة تحت هذه المراكز المنتشرة.

تتفلت غازات بركانية مثل CO_2 من الصخور المنصهرة قبل الانفجارات وخلالها وبعدها[1698]. وما لم يُقَس CO_2 بآلات قبل الهيجان البركاني البحري وخلاله وبعده، تبقى الكمية غير معروفة. غير أنه لو تجمدت الصخور البركانية البحرية فجأةً وتحولت إلى زجاج، فإن هذا سيحبس بعض CO_2[1699][1700]. وعلى الرغم من أن الصخور المنصهرة قد تفقد معظم الـ CO_2 الذي تحويه خلال ارتفاعها وابترادها، يسمح الباقي المفخخ بتقدير محتوى أولي أدنى له[1701].

لا تصدر كميات كبيرة من CO_2 من ارتفاع الصخور المنصهرة وابترادها عند قاع البحر أو تحته في منتصف مرتفعات المحيط فقط، بل تصدر الينابيع الحارة، المرتبطة بها، وأيضاً كميات صغيرة من CO_2[1702] إن الينابيع الحارة الهيدروحرارية البحرية حمضية، يسببها تسرب CO_2 وحمض الكبريتيك[1703].

Mid-Ocean Ridge Basaltic Liquids, Part II: Applications to Degassing,» *Journal of Petrology*, vol. 36 = (1995), pp. 1633-1646.

(1696) F. Pineau and M. Javoy, «Strong Degassing at Ridge Crests: The Behavior of Dissolved Carbon and Water in Basaltic Glasses at 14N (M. A. R),» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 123 (1994), pp. 179-198.

(1697) E. Hauri [et al.], «Evidence for Hot-Spot Related Carbonatite Metasomatism in the Oceanic Upper Mantle,» *Nature*, vol. 365 (1993), pp. 221-227.

(1698) R. H. Kingsley and J.-G. Schilling, «Carbon in Mid-Atlantic Ridge Basalt Glasses from 28 °N to 63 °N: Evidence for a Carbon-Enriched Azores Mantle Plume,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 129 (1995), pp. 31-53.

(1699) D. J. Des Marais and J. G. Moore, «Carbon and its Isotopes in Mid-Oceanic Basaltic Glasses,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 69 (1984), pp. 43-57.

(1700) J. E. Dixon and E. M. Stolper, «An Experimental Study of Water and Carbon Dioxide Solubilities in Mid-Ocean ridge Basaltic Liquids, Part II: Applications to Degassing,» *Journal of Petrology*, vol. 36 (1995), pp. 1633-1646.

(1701) B. Marty and I. N. Tolstikhin, «CO_2 Fluxes from Mid-Ocean Ridges, Arcs, and Plumes,» *Chemical Geology*, vol. 145 (1998), pp. 233-248.

(1702) J. A. Resing [et al.], «CO_2 and ^3He in Hydrothermal Plumes: Implications for Mid-Ocean Ridge CO_2 Flux,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 226 (2004), pp. 449-464.

(1703) M. J. Mottl and T. F. McConachy, «Chemical Processes in Buoyant Hydrothermal Plumes on the East Pacific Rise near 21 °N,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 54 (1990), pp. 1911-1927.

هذا ويتغير محتوى CO_2 كثيراً[1704]، ويمكن إزالته من الينابيع الحارة بترسب الكربونات في تفاعلات صخرية ـ سائلة. وتصدر هذه الينابيع 0.3 إلى 1.2 في المئة مما يدخل المحيطات من ثاني أكسيد الكربون[1705]. إن مقدار الغاز الذي تصدره ثقوب الغاز في البراكين غير معروف، ولكن الدلائل تشير إلى مقادير عالية. وتضيف البراكين كميات من CO_2 إلى المحيطات والغلاف الجوي أكثر مما يضيفه الإنسان.

كما تصدر المناطق النشيطة بركانياً، التي تحف بالمحيطات عادة، فتدفع ألواح من القشرة الأرضية إلى أسفل الألواح المتاخمة، مصدرةً كميات هائلة من CO_2 من شقوق الغاز والينابيع الحارة[1706]. إن عملية إعادة دورة صخور الأرض هذه كانت تحدث لمدة طويلة أعطت كميات متغيرة وكبيرة من CO_2 إلى الغلاف الجوي للأرض[1707]. وتمثل البراكين المرئية 15 في المئة فقط من مجموع براكين الأرض، ولكنها البراكين الوحيدة التي «تحسب» في نماذج IPCC، وهي متفجرة بسبب التمدد المفاجئ لـ H_2O وCO_2 الموجودين في الصخور المنصهرة.

عندما يُدفع لوح من القشرة الأرضية تحت لوح آخر، لا يصدر CO_2 من الصخور المنصهرة الناتجة فحسب، وإنما يصدر أيضاً من ثقوب غازات ناتجة من تسخين الصخور الكلسية[1708][1709]، وإن حجم CO_2 الصادر من الثقوب يساوي مئات أضعاف الحجوم الصادرة من الصخور المنصهرة. ويمكن للإخراج المفاجئ أن يشكل فوهات قطرها 1000 متر[1710]. إن فوهات

(1704) F. J. Sansone [et al.], «CO_2 Depleted Fluids from Mid-Ocean Ridge-Flank Hydrothermal Springs,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 62 (1998), pp. 2247-2252.

(1705) C. LeQuéré and N. Metzel, «Natural Processes Regulation the Ocean Uptake of CO_2,» in: *SCOPE 62: The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*, edited by C. B. Field, and M. R. Raupach (Washington, DC: Island Press, 2004), chap. 12, pp. 243-256.

(1706) D. R. Hilton [et al.], «Controls on the He-C Systematic of the Izu-Bonin-Marianas (IBM) Subduction Zone,» *Geochimica et Cosmochimica Acta,* vol. 70 (2006), doi: 10.1016/j.gca.2006.06.507.

(1707) J. Yamamoto [et al.], «Helium and Carbon Isotopes in Fluorites: Implications for Mantle Carbon Contribution in an Ancient Subdiction Zone,» *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, vol. 107 (2001), pp. 19-26.

(1708) D. M. Kerrick and K. Caldeira, «Metamorphic CO_2 Degassing from Orogenic Belts,» *Chemical Geology*, vol. 145 (1998), pp. 213-232.

(1709) R. D. Schuiling, *Our Bubbling Earth* (London: Elsevier, 2005).

(1710) M. Fytikas, «Updating of the Geological and Geothermal Research on Milos Island,» *Geothermics,* vol. 18 (1989), pp. 485-496.

البراكين[1711] المليئة بـ CO_2 شائعة جداً، على سبيل المثال في القطب الشمالي حيث تصدر الفوهات الكبيرة كميات هائلة من الحرارة وCO_2 إلى مياه القطب الشمالي[1712]. وفي أماكن أخرى من القطب الشمالي، يصدر النشاط البركاني البحري والينبوعي الحار CO_2[1713] الذي يسخن كميات ضخمة من الصخور[1714]، وحتى برك تحت القشرة فيتسرب CO_2 منها لاحقاً إلى الغلاف الجوي[1715].

إن لنهر الأمازون أعمدة (Plume) من المياه قليلة الملوحة تمتد 3000 كيلومتر في المحيط الأطلسي الاستوائي، فعندما يندمج بمياه البحر، يجب أن يصدر CO_2 إلى الغلاف الجوي. غير أن كميات معنوية من CO_2 تمتز (Adsorbs) من الغلاف الجوي إلى هذه المياه. وتغير البكتريا المثبتة للنيتروجين، المعتمدة على مواد غذائية في ماء مطر نهر الأمازون الجاري مغيّرة توازن، المحيط ـ الهواء، فبدلاً من إصدار CO_2، يقوم المحيط بامتزازها[1716]. ويحدث عزل الكربون لـ 15 ميغا طن في العام في منطقة اعتقد أنها تصدر CO_2 إلى الغلاف الجوي. وتستمر الطبيعة تذهلنا بمفاجآت صغيرة.

تستخلص هائمات من الكائنات العائمة CO_2 المذاب في مياه المحيط وضوء الشمس من أجل عملية التركيب الضوئي[1717]. وليس CO_2 طعاماً للنبات فحسب، بل إنه يزيد من حجم الخلية[1718]. وتستعمله الكائنات لتشكيل

(1711) Maar.

(1712) R. A. Sohn [et al.], «Explosive Volcanism on Theuultraslow-Spreading Gakkal Ridge, Arctic Ocean,» *Nature*, vol. 453 (2008), pp. 1236-1238.

(1713) J. Snow [et al.], «Magmatic and Hydrothermal Activity in the Lena Trough, Arctic Ocean,» *Transactions of the American Geophysical Union*, vol. 82 (2001), p. 193.

(1714) R. D. Schuiling, «Thermal Effects of Massive CO_2 Emissions Associated with Subducted Volcanism,» *Comptes Rendus Geosciences*, vol. 336 (2004), pp. 1053-1059.

(1715) R. D. Schuiling and R. Kreulen, «Are Thermal Domes Heated by CO_2-Rich Fluids from the Mantle?,» *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 43 (1979), pp. 298-302.

(1716) S. R. Cooley [et al.], «Seasonal Variations in the Amazon Plume-Related Atmospheric Carbon Sink,» *Global Biogeochemical Cycles* (2007), doi: 10.1029/2006Gboo2831.

(1717) K. R. Arrigo [et al.], «Phytoplankton Community Structure and the Drawdown of Nutrients and CO_2 in the Southern Ocean,» *Science*, vol. 283 (1999), pp. 365-367.

(1718) S. Burkhardt, U. Riebesell and I. Zondervan, «Effect of Growth Rate, CO_2 Concentration, and Cell Size on the Stable Carbon Isotope Fractionation in Marine Phytoplankton,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 63 (1999), pp. 3729-3741.

أصداف كربونية. وعندما يموت الكائن العائم، تغرق الأصداف. ويزال CO_2 بهذه الطريقة باستمرار من المحيطات، ومصبات الأنهار والبحيرات. وإن الزيادة في CO_2 والمواد الغذائية في مياه البحر هي العامل الرئيسي الذي يزيد من معدل نمو الكائنات العائمة. وتغير الاختلافات في درجة حرارة سطح البحر نِسَبَ نظائر الأكسجين الخفيف والثقيل في الأصداف[1719]، وتراكم الأحياء تفاضلياً النظير الخفيف للكربون[1720][1721]، ولذلك يمكن استعمال الكائنات العائمة الأحفورية لتعقب تغيرات درجة حرارة سطح البحر كسبب لتغير المناخ، ويمكن استعمالها لحساب محتوى CO_2 في الغلاف الجوي في أزمنة سابقة.

هناك نظرية تقول إن ارتفاع الجبال يغيّر معدل التجوية بإزالة CO_2 من الغلاف الجوي وإنتاج احتباس حراري سلبي. ويزيد ارتفاع الجبال المتزايد من انخفاض CO_2. واقترح أن رفع جبال الهيمالايا كان أحد المحركات المناخية التي حفزت التجلد الأخير[1722][1723]. وتقول القصة إن التجوية المتزايدة تضيف المزيد من المواد الغذائية إلى المحيطات. وعلى سبيل المثال، أدى الارتفاع السريع لسهل التيبت ـ الهيمالايا إلى زيادة دخل الفوسفور إلى المحيطات. وأدى هذا إلى ازدهار الطحالب في المحيطات قبل نحو 4 إلى 8 ملايين عام خلت، تزامناً مع تكثيف الرياح الموسمية الهندية ـ الآسيوية. ولم يخفض ارتفاع الجبال CO_2 من الغلاف الجوي فحسب، بل إن ازدهار الطحالب[1724] استنزف الـ CO_2 الجوي هو الآخر. وهذا حدث عند تقدم التجلد[1725].

(1719) D. A. Wolf-Gladrow [et al.], «Direct Effects of CO_2 Concentration on Growth and Isotopic Composition of Marine Plankton,» *Tellus,* vol. 51 (2002), pp. 461-476.

(1720) B. J. Peterson and B. Fry, «Stable Isotopes in Ecosystems Studies,» *Annual Review of Ecology and Systematics*, vol. 18 (1987), pp. 293-320.

(1721) C. Descolas-Gros and M. Fontungne, «Stable Carbon Isotope Fractionation by Marine Phytoplankton during Photosynthesis,» *Plant, Cell & Environment*, vol. 13 (2006), pp. 207-218.

(1722) W. F. Ruddiman and J. E. Kutzbach, «Plateau Uplift and Climatic Change,» *Scientific American* (March 1991), pp. 42-50.

(1723) M. E. Raymo and W. F. Ruddiman, «Tectonic Forcing of Late Cenozoic Climate,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 117-122.

(1724) فرط المواد الغذائية على سطح الماء أو التأجين، بشكل شائع عن طريق الطحالب البحرية المسماة (Coccolithophoridae).

(1725) G. M. Fillippelli, «The Global Phosphorus Cycle: Past, Present and Future,» *Elements*, vol. 4 (2008), pp. 89-95.

إن التجوية من حيث المبدأ عملية إضافة الماء والأكسجين إلى الصخور، وليس بالضرورة أن يتحكم ارتفاع الجبال بالمناخ من خلال الاحتباس الحراري السلبي. فعلى سبيل المثال، إن مظاهر التجوية الأعمق حول العالم أقدم بكثير من ارتفاع الهيمالايا[1726]. وإن التجلد في النصف الشمالي للكرة الأرضية بدأ منذ 2.67 مليون عام، غير أن ارتفاع جبال الهيمالايا بدأ قبل 23 مليون عام، ووصل إلى ذروته قبل 15 مليون عام، واستمر عالياً إلى ما قبل 10.5 مليون عام، وتباطأ تدريجياً قبل 3.5 مليون عام، ثم بدأ بالازدياد مرة أخرى[1727]. ولما كانت التجوية والتآكل (إزالة مواد التجوية) لا تحدثان في آن معاً، فإن ارتفاع هضبة التيبت ـ الهيمالايا لم يحدث في الوقت الذي حدث فيه تغير المناخ[1728]، وبالتالي فإن النظرية القائلة إن ارتفاع الجبال يحفز التجلد غير صحيحة.

إن معظم محيطات العالم مستنفدة الحديد، وذلك لأن المحيطات ليست حمضية وهي تحوي أكسجيناً ذائباً. والحديد مادة غذائية ميكروية للكائنات المجهرية التي تقوم بعملية التركيب الضوئي. وإن المحيطات مستنفدة من المواد الغذائية الميكروية، وإن التخصيب بالحديد الطبيعي يسبب ازدهاراً للطحالب التي تستخلص الـ CO_2 من الهواء والماء. وإن ازدهاراً كهذا يُرى في السطح. غير أن تزويد المواد الغذائية من ترسبات مستمدة من القطب الجنوبي أنتج ازدهاراً في المياه بعمق 3 كيلومترات[1729]. وتشير ملاحظات كهذه إلى أن تقديرات أخذ CO_2 من مياه المحيط يكون رقماً أدنى فقط.

خلال الأزمنة الجليدية، تتحول الغابات والأراضي الزراعية إلى صحاري، وتنفخ الرياح المتزايدة غباراً أحمر يحمل الحديد إلى المحيطات. وينتج من هذا ازدهار للكائنات المجهرية في المحيطات. ويسحب ازدهار هذه الكائنات خلال عملية التركيب الضوئي مزيداً من CO_2 من الغلاف الجوي[1730]. وإذا كان CO_2

(1726) C. D. Ollier and C. F. Pain, *Regolith, Soils and Landforms* (New York: John Wiley, 1996).

(1727) P. D. Clift [et al.], «Correlation of Himalayan Exhumation Rates and Asian Monsoon Intensity,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 875-880.

(1728) C. D. Ollier, «Mountain Building and Climate: Mechanisms and Timing,» *Geografia fisica e dinamica Quaternaria,* vol. 27 (2004), pp. 139-149.

(1729) R. T. Pollard [et al.], «Southern Ocean Deep-Water Carbon Export Enhanced by Natural Iron Fertilization,» *Nature*, vol. 457 (2009), pp. 577-581.

(1730) H. J. W. De Baar [et al.], «Importance of Iron for Plankton Blooms and Carbon Dioxide Drawdown in the Southern Ocean,» *Nature*, vol. 373 (1999), pp. 412-415.

يحرك المناخ، فإن الغبار الأحمر المنفوخ إلى المحيطات خلال العصر الجليدي يسرّع من إزالة CO_2 من الغلاف الجوي، وستعاني الأرض في النهاية عصراً جليدياً. وهذا لم يحدث. فمن الواضح إذن أن CO_2 ليس المحرك الرئيسي للمناخ.

أنتج النشاط البشري المتزايد، الناتج بشكل رئيسيي من الزراعة ورعاية الحيوان، ما يصل إلى 500 في المئة من الغبار الآتي من تآكل الترسبات السطحية في الولايات المتحدة الأميركية بسبب الرياح[1731]. وقد كان هناك ازدياد مقداره خمسة أضعاف من الغبار في الأنظمة البيئية الألبية. وهذا، يحرك نمو كائنات عملية التركيب الضوئي في المحيطات (خصوصاً)، وبالتالي إزالة الـ CO_2 من الغلاف الجوي. ويُنفخ كثير من غبار أحمر غني بالحديد من شمال أفريقيا، وبخاصة من الصحاري، إلى المحيطات[1732].

المحيطات الحمضية

إن للمحيطات حموضة، مقاسة بالـ pH، تراوح بين 7.9 إلى 8.2. وهذا الرقم أعلى من المحايد الطبيعي (pH = 7)، مما يعني أن المحيطات أصلاً قلوية. ويمتد مقياس الـ pH من 0 ـ 14، وpH6 أكثر حموضةً بعشر مرات من pH7 وpH5 أكثر حموضة بمئة مرة من pH7. ونحتاج إلى مقدار كبير من الحمض لتحميض مياه البحر من pH8 إلى pH6. وبمجرد وجود الحمض، تصبح الترسبات والصخور والأصداف تفاعلية جداً. وتقضي هذه التفاعلات على الحمض، فتعود المحيطات إلى وضعها القلوي الطبيعي. والمياه الأكثر قلوية في المحيطات تتواجد في مركز أنماط دوران المحيط، بينما توجد المياه الأقل قلوية في الصعادات (Upwellings) حيث تصعد المياه العميقة في المحيط إلى السطح. وهذه المياه غنية بالمواد الغذائية، ونتيجة لعملية التركيب الضوئي تزدهر الكائنات المجهرية، وتصبح أسفل سلسلة غذائية لحياة بحرية متعددة.

إذا ذاب CO_2 في مياه البحر، تصبح المحيطات أكثر حموضة[1733]. غير

(1731) J. C. Neff [et al.], «Increasing Aeolian Dust Deposition in the Western United States Linked to Human Activity,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 189-195.

(1732) R. A. Duce and N. W. Tindale, «Atmospheric Transport of Iron and its Deposition in the Ocean,» *Limnology and Oceanography*, vol. 36 (1999), pp. 1715-1726.

(1733) $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$, $H_2CO_3 = H^+ + HCO_3^-$, $HCO_3^- = H^+ + CO_3^{2-}$. يكون ثاني أكسيد الكربون في المحيطات التي حموضتها من 7.9 إلى 8.2 غازاً منحلاً (1 في المئة) وHCO_3^- (93 في المئة) وCO_3^{2-} (8 =

أنه عندما يذاب CO_2 في مياه البحر، يُحيّد (Neutralise) إلى بيكربونات، بالتفاعل مع الكربونات المذابة والبورات في المياه، ومع ترسبات كربونات الكالسيوم التي تغطي الكثير من قاع المحيط. إذا أصبح المحيط حمضياً ($pH < 7$)، فيمكن القول إن أصداف الكائنات البحرية يمكنها أن تذوب[1734]. وقد أُدّعي أن الحموضة في بعض أجزاء المحيطات، قد انخفضت وهي آخذة بالانخفاض منذ الثورة الصناعية بمقدار 0.1[1735]. وباعتبار أن للمحيط pH من 7.9 إلى 8.2، فقد يكون هذا التغير راجعاً لأسباب متنوعة. ويبالغ الإعلام الحديث جداً بالحموضة ككارثة بيئية كامنة[1736]، وهناك اسقاطات لتخفيض الحموضة مع حلول نهاية القرن الحادي والعشرين بمقدار 0.4[1737]. يبين السجل الجيولوجي أن الأصداف لا تنحل، وإلا لما كانت هناك أحافير للأصداف. وإن المحيطات مشبعة بكربونات الكالسيوم إلى عمق 4.8 كيلومترات. وإذا أضيف المزيد من CO_2 إلى المحيطات، فسوف يترسب كربونات الكالسيوم[1738].

كان بإمكان كمية إضافية من CO_2 أن ترسّب الجبس (Gypsum) في المحيطات بدلاً من كربونات الكالسيوم. ولم يحدث ذلك. وإذا كان محتوى CO_2 عالياً جداً، يترسب الدولوميت في المحيطات[1739]. ولم يحدث ذلك إلا مباشرةً بعد تجلدات النيروبروتيروزويك. وعندما كان تركيز CO_2 الجوي أكثر

= في المئة). ويربط الكالسيوم في مياه البحر ثاني أكسيد الكربون بكربونات للكالسيوم غير قابلة للذوبان في أصداف، وأحياد مرجانية، وترسبات معدنية. $Ca^{2+}_{[aq]} + CO_3^{2-}[aq] = CaCO_3$. إضافةً إلى ذلك، ترسب المياه المفخخة في الترسبات أسمنت الكربون. وبهذه العمليات يزال ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي ويخزن في ترسبات بحرية كأحافير وأسمنت وصخور. وحالياً، يمكن لأصداف عوالق CaCO أن تنحل في مياه البحر في عمق أكثر من 4.8 كيلومترات.

(1734) K. Calderia and M. E. Wickett, «Anthropogenic Carbon and Ocean Ph,» *Nature*, vol. 425 (2003), p. 365.

(1735) P. M. Haugan and H. Drange, «Effects of CO_2 on the Ocean Environment,» *Energy, Conservation and Management*, vol. 37 (1996), pp. 1019-1022.

(1736) S. C. Doney, «The Dangers of Ocean Acidification,» *Scientific American* (March 2006), pp. 58-65.

(1737) A. J. Anderson, F. T. Mackenzie, and A. Lerman, «Coastal Ocean CO_2-Carbonic Acid-Carbonate Sediment System of the Anthropocene,» *Global Biological Cycles*, vol. 20 (2006), GBIS92.

(1738) W. S. Broeckner [et al.], «The Fate of Fossil Fuel Carbon Dioxide and the Global Carbon Budget,» *Science*, vol. 206 (1979), pp. 409-418.

(1739) Gypsum $CaSO_4.2H_2O_2$ dolomite $CaMg(CO_3)_2$.

من 1٪ في النيروبروتيروزيوك، ترسبت كميات كبيرة من الدولوميت في بحار النيوبروتيروزيوك. وهذا يعني أن التوازن الذي نراه اليوم للـ CO_2 بين الغلاف الجوي والمحيطات لم يتغير منذ آلاف ملايين السنين[1740]. ولم يتغير هذا التوزان في أزمنة الإصدار الكثيف للـ CO_2 من البراكين. هذا ويتلازم الإنتاج البركاني للـ CO_2 بالترسب المتزايد لكربونات الكالسيوم في المحيطات[1741]. وهذه العملية الجيولوجية التي حدثت قبل مليارات السنين تتجاهلها نماذج الكمبيوتر المناخية لـ IPCC، ويبين هذا مرة أخرى أن النماذج تبسط الحقيقة تبسيطاً شديداً بسبب نقص البيانات.

يرتفع محتوى الميثان الجوي قليلاً خلال أزمنة تكون الفحم، لأن الخث يتعرض لتفتت وهجوم من الكائنات المجهرية. وقد ترسبت تكونات الفحم الرئيسية عندما كان هناك ما يكفي من الميثان الجوي وثاني أكسيد الكربون. وكان ذلك خلال أزمنة باردة حينما كانت الكائنات المجهرية غير نشيطة نسبياً[1742]. وخلال التجلد البرمو ـ كاربونيفيروس (Permo-Carboniferous) قبل 300 ـ 260 مليون عام، لم يكن للميثان الجوي العالي وثاني أكسيد الكربون أثر احترار كوني شديد. يرتبط غاز الميثان في الترسبات مع المياه في الظروف البحرية الباردة، لتشكيل هيدرات الميثان (Methane Hydrate). ويمكن لإصدار هيدرات الميثان إلى الغلاف الجوي أن يحدث مع ارتجافات أرضية، ونشاط بركاني بحري، وأثر مذنبات ونيازك، وتفريغ للترسبات مع انخفاض مستوى سطح البحر، وانسيابات بقايا البحر، واحترار مياه البحر.

كانت هناك فترة قصيرة من الاحترار السريع (10000[1743] عام) ناتجة من إصدار مفاجئ لهيدرات الميثان من قاع المحيط قبل 55.8 مليون عام. ثم تأكسدت هيدرات الميثان في الغلاف الجوي إلى ثاني أكسيد الكربون، فكان

(1740) H. D. Holland, *The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1984).

(1741) M. I. Budyko, A. B. Ronov and A. L. Yashnin, *History of the Earth's Atmosphere* (Berlin; New York: Springer-Verlag, 1987).

(1742) O. Bartdorff [et al.], «Phanerozoic Evolution of Atmospheric Methane,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 22 (2008), GB1008, doi: 10.1029/2007BG002985.

(1743) F. Nunes and R. D. Noriss, «Abrupt Reversal of Ocean Overturning during the Palaeocene/Eocene Warm Period,» *Nature*, vol. 439 (2006), doi, 10.1038/nature04386.

بخار الماء والمحيطات حمضية لفترة قصيرة[1744][1745]. ويأتي فهم هذه الفترة من الاحترار وحموضة المحيط من دراسة الأكسجين ونظائر الكربونات في أصداف كربونات الكالسيوم[1746]. وفي ما كان هناك تغير مفاجئ كارثي في الدفء والحموضة، لم تنحل هذه الأصداف، بل تطورت[1747].

وخلال هذه الفترة من الاحترار المفاجئ، انتقل العمق الذي انحلت فيه كربونات الكالسيوم في المحيط من 4.8 إلى 2.7 كيلومترات. وانحل جزء كبير من CO_2 في المحيطات وانفصل انفصالاً دائماً بعمليات التجوية البحرية خلال فترة 100000 عام[1748]. هذا ولم تدخل هيدرات الميثان كعامل في نماذج IPCC.

كان يجب لحدث الاحترار القصير قبل 55.8 مليون عام أن ينتج ارتفاعاً بارزاً في مستوى سطح البحر. وتبين دلائل الترسبات البحرية من رف نيو جرسي (New Jersy Shelf)، وبحر الشمال، ورف نيوزيلندا، أن مستوى سطح البحر بدأ بالارتفاع قبل 200000 عام، ووصل إلى ذروته خلال حدث الاحترار. وربما نتج ارتفاع مستوى سطح البحر هذا من انفجار بركان غير عادي (منطقة شمال الأطلسي البركانية) قلّل من حجم حوض المحيط[1749]. ومن الواضح أن أحداث الاحترار وتغيرات مستوى سطح البحر ليست مفهومةً فهماً كاملاً، وبالتالي فإن النموذج الكمبيوتري سهل وتبسيطي.

رغم أن مياه الأمطار كانت حمضية بعض الشيء (pH5.6) إلا أنها في الوقت الذي تسيح فيه فوق سطح الأرض وتتفاعل كيميائياً مع المعادن في التربة

(1744) P. N. Pearson and M. R. Palmer, «Middle Eocene Seawater pH and Atmospheric Carbon Dioxide Concentrations,» *Science*, vol. 284 (1999), pp. 1824-1826.

(1745) J. C. Zachos, «Rapid Acidification of the Ocean during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 1611-1615.

(1746) D. K. Pak and K. G. Miller, «Paleocene to Eocene Benthic Foraminiferal Isotopes and Assemblages: Implications for Deepwater Circulation,» *Palaeoceanography*, vol. 7 (1992), pp. 405-422.

(1747) D. C. Kelly, T. J. Bralower and J. C. Zachos, «Evolutionary Consequences of the Latest Paleocene Thermal Maximum from Tropical Planktonic Foraminifera,» *Palaeogeography, Palaeocclimatology and Palaeoeology*, vol. 141 (1998), pp. 139-161.

(1748) J. C. Zachos [et al.], «Rapid Acidification of the Ocean during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 1611-1615.

(1749) V. Courtil [et al.], «On Causal Links between Flood Basalts and Continental Breakup,» *Earth and Planetary Science Letters,* vol. 166 (1999), pp. 177-195.

والصخور، تعود وتدخل إلى المحيطات كمياه قلوية[1750][1751][1752]. وتنتج الأملاح المنتقلة (Transient salts) تحت الأنهار من تفاعل مياه الأمطار مع الصخور، وتتوازن هذه الأملاح ذوبانياً، والـ CO_2 الجوي بجعل المياه السطحية قلوية ومالحة بعض الشيء[1753]. وتحتوي التربة على مزيد من CO_2 مما يحتويه الغلاف الجوي، وخلال سيرورات التجوية، تنتهي كمية كبيرة من CO_2 في أنظمة النهر[1754]. ويعتمد CO_2 الكلي المذاب في أنظمة النهر على المواسم، ومواقع المياه في نظام النهر، وإن كان الكربون المذاب قد تحول إلى CO_2[1755].

تعمل عملية التجوية منذ مليارات السنين على إزالة CO_2 من الغلاف الجوي والتربة وتخزينه في الصخور[1756][1757][1758]. وعملية إزالة CO_2 لا تحفز على التجلد، وكلما كانت درجة الحرارة أعلى ومحتوى CO_2 أعلى، كانت إزالة CO_2 بترسبات كربونات الكالسيوم أسرع[1759]. وقد وازن أخذ التربة

(1750) M. A. Velbel, «Temperature Dependence of Silicate Weathering in Nature: How Strong a Negative Feedback on Long-Term Accumulation of Atmospheric CO_2 and Global Greenhouse Warming?,» *Geology*, vol. 21 (1993), pp. 1059-1061.

(1751) L. R. Kump, M. S. L. Brantley and M. A. Arthur, «Chemical Weathering, Atmospheric CO_2 and Climate,» *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 28 (2000), pp. 611-667.

(1752) J. Gaillardet [et al.], «Global Silicate Weathering and CO_2 Consumption Rates Deduced from the Chemistry of Large Rivers,» *Chemical Geology*, vol. 159 (1999), pp. 3-30.

(1753) A. Karim and J. Veizer, «Weathering Processes in the Indus River Basin: Implications from Riverine Carbon, Sulfur, Oxygen, and Strontium Isotopes,» *Chemical Geology*, vol. 170 (2000), pp. 153-177.

(1754) K. Telmer and J. Veizer, «Carbon fluxes, CO_2 and Substrate Weathering in a Large Northern River Basin, Canada: Carbon Isotope Perspectives,» *Chemical Geology*, vol. 159 (1999), pp. 61-86.

(1755) J. A. C. Barth and J. Veizer, «Carbon Cycle in St. Lawrene Aquatic Ecosystems at Cornwall (Ontario), Canada: Seasonal and Spatial Variations,» *Chemical Geology*, vol. 159 (1999), pp. 107-128.

(1756) R. A. Berner, A. C. Lasagna and R. M. Garrels, «The Carbonate-Silocate Geochemical Cycle and its Effect on Atmospheric Carbon Dioxide over the Past 100 Million Years,» *American Journal of Science*, vol. 283 (1983), pp. 641-683.

(1757) M. E. Raymo and W. F. Ruddiman, «Tectonic Forcing of Late Cenozoic Climate,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 117-122.

(1758) $CO_2 + H_2O = H_2CO_3$; $H_2CO_3 = H^+ + HCO_3^-$; $2Ca^{2+} + 2HCO_3^- = 2CaCO_3 + 2H^+$; $2KAlSi_3O_8 + 2H^+ + H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4SiO_2$; $2NaAlSi_3O_8 + 2H^+ + H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2Na^+ + 4SiO_2$; $CaAl_2Si_2O_8 + 2H^+ + H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + Ca^{2+}$; $KAl_2AlSi_3O_{10}(OH)_2 + 3Si(OH)_4 + 10H^+ = 3Al^{3+} + K^+ + 6SiO_2 + 12H_2O$; $CO_2 + CaSiO_3 = CaCO_3 + SiO_2$; $CO_2 + FeSiO_3 = FeCO_3 + SiO_2$; $CO_2 + MgSiO_3 = MgCO_3 + SiO_2$

(1759) = J. C. B. Walker, P. B. Hays and J. F. Kasting, «A Negative Feedback Mechanism for the

والصخور والمياه والحياة لـ CO_2 إصدار CO_2 في الغلاف الجوي[1760]. ونتج من هذا استقرار طويل الأمد لحرارة سطح الأرض. وحتى إذا لم يحدث هذا الاستقرار الجيولوجي، فإنه سيكون هناك استقرار طويل الأمد بالأحياء[1761].

تجري مياه الأمطار في بحيرات ماء عذبة وتتجمع فيها، وهي حمضية بعض الشيء[1762][1763]. غير أن البحيرات، وبخاصة تلك القلوية، تحوي أصدافاً من الكائنات العائمة والحيوانات الكبيرة[1764][1765][1766]. وعندما تكون البحيرات حمضية جداً، تموت الحياة غير البكتيرية[1767]. إن للبحيرات العذبة فائضاً من الكالسيوم[1768] ولبعض البحيرات والبحار الراكدة أو شبه الراكدة مياه سفلى فقيرة بالأكسجين (على سبيل المثال، البحر الأسود). وبمعزل عن بضع أحداث قصيرة حادة[1769]، بقيت المحيطات قلوية لمليارات السنين. وأزيل CO_2 المذاب بترسبات معادن كربونات الكالسيوم في الأصداف، والحيود المرجانية،

Long Term Stabilization of the Earth's Surface Temperature,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 86 = (1981), pp. 9776-9782.

(1760) R. A. Berner, «Global CO_2 Degassing and the Carbon Cycle: Comment on Cretaceous Ocean Crust at DSDP Sites 417 and 418: Carbon Uptake from Weathering vs Loss by Magmatic Activity,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 54 (1980), p. 2889.

(1761) D. W. Schwartzman and T. Volk, «Biotic Enhancement of Weathering and the Habitability of Earth,» *Nature*, vol. 311 (1989), pp. 45-47.

(1762) R. Dermott, J. R. M. Kelso and A. Douglas, «The Benthic Fauna of 41 Acid Sensitive Headwater Lakes in North Central Ontario,» *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 28 (1986), pp. 283-292.

(1763) H. H. Harvey and J. M. McArdle, «Composition of the Benthos in Relation to pH in the LaCloche Lakes,» *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 30 (2004), pp. 529-536.

(1764) E. Pip, «Species Richness of Freshwater Gastropod Communities in Central North America,» *The Malacological Society of London*, vol. 53 (1987), pp. 163-170.

(1765) T. von Rintelen and M. Glaubrecht, «New Discoveries in Old Lakes: Three New Species of Tylomelania Sarasin & Sarasin, 1897 (Gastropoda: Cerithioidea: Pachychilidae) from the Malili Lake System on Sulawesi, Indonesia,» *The Malacological Society of London*, vol. 69 (2003), pp. 3-17.

(1766) O. Bennike, W. Lemke and J. B. Jensen, «Fauna and Flora in Submarine Early Holocene Lake-Marl Deposits from the Southwestern Baltic Sea,» *The Holocene*, vol. 8 (1998), pp. 353-358.

(1767) J. P. Nilssen, «Acidification of a Small Watershed in Southern Norway and Some Characteristics of Acidic Aquatic Environments,» *International Revue der Gesamten Hydrobiologie*, vol. 65 (1980), pp. 177-207.

(1768) على سبيل المثال، تجوية حجر الكلس بالأمطار الحمضية تنتج «كالسيوم» للتراكم في البحيرات والمحيطات، $CO_2 + CaCO_3 + H_2O = 2(HCO_3)^- + Ca^{2+}$

(1769) T. K. Lowenstein and R. V. Demicco, «Elevated Eocene Atmospheric CO_2 and its Subsequent Decline,» *Science*, vol. 313 (2006), p. 1928.

والروابط التي تربط الجزئيات المعدنية مع ترسبات معدنية. ولأن للمحيطات فائضاً من الكالسيوم، فإن ذوبان المزيد من CO_2 في المحيطات، يرسب المزيد من كربونات الكالسيوم. ولما كان للمحيطات فائض من الكالسيوم، فلا يمكنها أن تصبح حمضية.

يدخل الحمض إلى المحيط من ينابيع بحرية حارة فيصبح ما يحيط بها أقل قلوية من أي مكان آخر. وهذا هو الحال بخاصة مع الينابيع الحارة القريبة من الساحل في مناطق مكتظة بالسكان حيث يغير وضوح الماء، والترسبات، والوقاية من الأمواج، وجريان مياه الأمطار، والآثار الإنسانية (على سبيل المثال، المجاري) من القلوية. وفي هذه الحالات، تؤدي فترات قصيرة من القلوية المتناقصة إلى تناقص في عدد الحيوانات التي تقتات على الطحالب الخضر، وبالتالي يكون هناك تزايد في الطحالب الخضر[1770].

يُبقي التفاعل، بين مياه البحر والمعادن في قاع المحيط، المحيطات قلوية[1771]. يغطى قاع المحيطات ببازلت صخري بركاني، وهو صخر شديد التفاعل، وبخاصة عندما يكون زجاجياً ومقطعاً[1772]. وتجعل التفاعلات بين ماء البحر والبازلت المحيطات أكثر قلوية، فتتوازن الحموضة المضافة بالينابيع الحارة وذوبان CO_2 في ماء البحر. لقد تحكمت تفاعلات ماء البحر ـ البازلت خلال الزمن بالغلاف الجوي وبكيمياء ماء البحر[1773]. وإن الاتصال مع صخور قاع المحيط، وبخاصة البازلت، يزيل الـ CO_2 من ماء البحر لتشكيل الكربونات[1774]. وتتم المحافظة على توازن جيد حيث تستهلك الكائنات

(1770) J. M. Hall-Spencer [et al.], «Volcanic Carbon Dioxide Vents Show Ecosystem Effects of Ocean Acidification,» *Nature*, vol. 453 (2008), doi: 10.1038/nature07051.

(1771) على سبيل المثال، تجوية السليكات مثل البيروكسين يستهلك ثاني أكسيد الكربون ويشكل كربونات. وتنطبق التفاعلات نفسها على الزبرجد الزيتوني، عائلة من المعادن أكثر تفاعلية من البيروكسين. $CO_2 + CaSiO_3 = CaCO_3 + SiO_2$; $CO_2 + FeSiO_3 = FeCO_3 + SiO_2$; $CO_2 + MgSiO_3 = MgCO_3 + SiO_2$

(1772) إن الفلسبار (سليكات الألمنيوم) هي المعادن الأكثر كفاية في الصخور الأرضية والبحرية وتصقل الحموضة بالتفاعل لتشكيل الكولنيت. $2KAlSi_3O_8 + 2H+ + H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2K^+ + 4SiO_2$; $2NaAlSi_3O_8 + 2H+ + H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + 2Na^+ + 4SiO_2$; $CaAl_2Si_2O_8 + 2H^+ + H_2O = Al_2Si_2O_5(OH)_4 + Ca^{2+}$

(1773) R. S. Arvidson, M. Guidry and F. T. Mackenzie, «The Control of Phanerozoic Atmosphere and Seawater Composition by Basalt-Seawater Exchange Reactions,» *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 88 (2005), pp. 412-415.

(1774) $Ca^{2+} + H_2O + CO_2 = CaCO_3 + 2H^+$; $H^+ + (OH)^- = H_2O$.

المجهرية (عوالق نباتية) CO_2 كطعام للنبات، وبالتالي تزيد القلوية، بينما يزيد تحلل هذه الكائنات الحية الحموضة. وكلما زاد CO_2 في الغلاف الجوي، ازدهرت الطحالب المجهرية في المحيطات.

حدثت هذه العمليات المعدنية والبيولوجية طيلة المليارات من السنين. وتبيّن التفاعلات مع بازلت قاع البحر القديم والحديث توازناً في الحموضة حتى عندما كان CO_2 في الغلاف الجوي أكثر بـ 25 مرة مما هو عليه اليوم. وقد حافظت التفاعلات الكيميائية للمياه ـ الصخور التي حافظت على ملوحة المحيطات، على قلويتها أيضاً. وإذا كان للمحيطات أن تصبح حمضية، فعليها أن تصبح أقل ملوحة. وأنا لا أرى ذلك.

رغم التغيرات الكبيرة في CO_2 الجوي خلال بضع مئات ملايين السنين الماضية، لم يتغير متوسط الحرارة العالمية تغيراً بارزاً، ولم تصبح المحيطات حمضية، ولم يكن هناك أثر واضح للاحتباس الحراري أو أثر البيوت الزجاجية[1775]. وتبين الأصداف الأحفورية والحيود، الطحلبية والمرجانية في الصخور القديمة الحفاظ على القلوية حتى عندما كانت الحرارة، وكان الـ CO_2 الجوي، أعلى بكثير من الآن، كما ازدهرت النباتات في تلك الأزمنة[1776].

كلما كان تركيز CO_2 الجوي أعلى في الماضي، كان تشكيل الأصداف أسهل. وإذا كانت المحيطات حمضية، فسوف تتفكك الأصداف وتصبح المحيطات قلوية. إضافةً إلى ذلك، كانت الحرارة المرتفعة ومحتوى CO_2 العالي غير مرتبطين[1777][1778]. ويبين لنا التاريخ الجيولوجي أنه لكي تثبت المحيطات (والنباتات الأرضية) بفعالية CO_2 الجوي وتخزنه في الصخور، يحتاج محتوى CO_2 الجوي أن يكون أعلى بكثير من الآن.

(1775) D. L. Royer, R. A. Berner and J. Park, «Climate Sensitivity Constrained by CO_2 Concentrations over the Past 420 Million Years,» *Nature*, vol. 446 (2007), pp. 530-532.

(1776) K. L. Bice, B. T. Huber and R. D. Norris, «Extreme Polar Warmth during the Cretaceous Greenhouse? Paradox of Turonian $\partial^{18}O$ Record at Deep Sea Drilling Project Site 511,» *Palaeoceanography*, vol. 18 (2003), pp. 1-11.

(1777) J. Veizer, Y. Godderis and L. M. Francois, «Evidence for Decoupling of Atmospheric CO_2 and Global Climate during the Phanerozoic Eon,» *Nature*, vol. 408 (2000), pp. 698-701.

(1778) Y. Donnadieu [et al.], «Cretaceous Climate decoupled from CO_2 Evolution,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 248 (2006), pp. 426-437.

كانت ملوحة المحيطات ثابتة تقريباً لمليارات السنين[1779] مع نقص خفيف في الدفء والملوحة وصولاً إلى الزمن الحاضر[1780]. يرشح المطر الحمضي الأملاح من الصخور على اليابسة وتنقلها الأنهار لتتراكم في المحيطات ويعاد تدويرها بشكل ثابت[1781]، وبهذه العملية تتم معادلة مياه الأمطار وتبقى المحيطات قلوية.

تتطور مياه البحر خلال الزمن، كما استدل عليه من خلال تحديدات دقيقة لنظائر أصداف العصور السالفة المعروفة[1782]. وعلى الرغم من أن غلاف الأرض الجوي خلال معظم الزمن الجيولوجي[1783] كان أدفأ بكثير من الآن، إلا أن التغيرات في كيمياء نظير الصدف قد يكون نتج من عمق متزايد للمحيطات، منذ 500 مليون عام[1784]. ويمكن اقتفاء نشأة مياه البحر من خلال تغيرات في نسب نظائر الأكسجين والسترونتيوم (تحركها تكتونيات الصفائح ونشأة القارات) وتراكيز الكربون والكبريت (تحركها الدورات البيولوجية والكيميائية). ولم يتأثر تطور مياه البحر بالـ CO_2 الجوي منذ 550 مليون عام، على الرغم من التركيز وكون درجة الحرارة أعلى بكثير من الماضي[1785]. وليس هناك سبب لتتغير هذه الدورات التكتونية والبيوكيميائية والجيوكيميائية لأننا، نحن البشر، موجودون على الأرض الآن.

إن النظرة الشائعة المفجعة هي أنه بينما يدفأ المناخ، سيذوب مزيد من CO_2 في المحيطات وصولاً إلى «نقطة ذروة» عندما تدخل الأرض احتباساً

(1779) W. W. Hay [et al.], «Evolution of Sediment Fluxes and Ocean Salinity,» in: D. F. Merriam and J. C. Davis, eds., *Geologic Modeling and Simulation: Sedimentary Systems* (New York: Kluwer, 2001), pp. 163-167.

(1780) L. P. Knauth, «Temperature and Salinity History of the Precambrian Ocean: Implications for the Course of Microbial Evolution,» *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology,* vol. 219 (2005), pp. 53-69.

(1781) J. J. W. Rogers, «A History of the Continents in the Past Three Billion Years,» *Journal of Geology*, vol. 104 (1996), pp. 91-107.

(1782) نظائر الكربون 13 والأكسجين 18 والكبريت 87/ الكبريت 86.

(1783) بمعزل عن التجلدات الرئيسية. انظر إلى **الجليد**، [الفصل الخامس من هذا الكتاب].

(1784) J. F. Kasting [et al.], «Paleoclimates, Ocean Depth, and the Oxygen Isotopic Composition of Seawater,» *Earth and Planetary Science Letters*, vol. 252 (2006), pp. 82-93.

(1785) J. Veizer [et al.], «$^{86}Sr/^{87}Sr$, ^{13}C and ^{18}C Evolution of Phanerozoic Seawater,» *Chemical Geology*, vol. 161 (1999), pp. 59-88.

حرارياً متصاعداً. و«نقطة الذروة» الأخرى هي أن المحيطات ستصبح حمضية، وعلى نحو دائم. وليس هناك في الحقيقةً شيء اسمه نقطة التداعي (Tipping Point) (أو حتى «مبدأ وقائي») في العلوم. وإن استعمال هذه الكلمات في الإعلام الشائع ومؤيدي السياسة يعلن عن آراء غير علمية. تتجاهل هذه النظرات التاريخ الجيولوجي، وإعادة تدوير CO_2، واحتجاز CO_2 بالأصداف والصخور، والعلاقة اللوغاريتمية بين درجة الحرارة وتركيز CO_2 في الغلاف الجوي.

تعطي المحاكاة الكمبيوترية قصة مختلفة عن الحقيقة، وتشير إلى أن المحيطات ستصبح حمضية[1786][1787]، وأن التجارب مع مياه البحر خاطئة لأنها معمولة في مختبرات بعيدة عن صخور قاع المحيط، وترسبات القارات وانسياب مياه الأنهار في المحيطات، وأن هذه العمليات الحقيقية هي التي أبقت المحيطات قلوية لمليارات السنين. والواجب أن تعطي تجارب المختبرات نتائجها في فترة قصيرة لكي يتم نشرها في دوريات علمية. ولا يمكن لعمليات حصلت خلال أزمنة جيولوجية طويلة أن تكرر بهذه السهولة. ولقد أظهرت التجارب المقيدة والمحدودة أنه عندما تضاف كميات متزايدة من CO_2 إلى مياه البحر، تصبح المياه حمضية فتذوب الأهداف! وإذا أضيفت حفنة من حصى، وترسبات ووحول من قاع بحر مع هائمات لها القدرة على التركيب الضوئي في التجربة لتمثيل الظروف الحقيقية، فسوف تكون النتيجة مختلفة تماماً. وينتهي الأمر بـ «محاكاة الكمبيوتر» التي تتجاهل الملاحظات والعمليات الطبيعية التي حدثت خلال مليارات السنين بنتيجة لا صلة لها بالحقيقة. فالحقيقة مكتوبة على الصخور، وليس على نماذج مؤسسة على معلومات غير مكتملة.

حرارة سطح البحر

تغطي المحيطات 71 في المئة من سطح الأرض. ويحرك المحتوى الحراري للمحيط المناخ، وتحدد حرارة سطح البحر أساساً حرارة سطح الكوكب[1788].

(1786) K. Caldeira and M. Wickett, «Anthropogenic Carbon and Ocean pH,» *Nature*, vol. 425 (2003), p. 365.

(1787) J. C. Orr [et al.], «Anthropogenic Ocean Acidification over the Twenty-First Century and its Impact on Calcifying Organisms,» *Nature*, vol. 437 (2005), pp. 681-686.

(1788) R. A. Pielke, «Heat Storage within the Earth System,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 84 (2003), pp. 331-335.

وهنالك ثمة احترار كوني قليل يشاع عنه باستعمال المحتوى الحراري للمحيط[1789]. ولا يعاني قياس درجة حرارة سطح البحر حدود القياسات المبنية على اليابسة مثل جزيرة «الحرارة المدينية» (Urban Heat Island) ووضع محطة الطقس وصيانتها وترابطها. إن لقياسات حرارة سطح البحر مشكلات أخرى، فإن نقل الحرارة من الغلاف الجوي إلى المحيطات صعب بسبب حجم الغلاف الجوي وسعته الحرارية مقارنةً بالمحيطات. وإذا كانت إصدارات الإنسان من الغازات قد رفعت من حرارة الغلاف الجوي، فليس هناك حرارة إضافية كافية لتدفئة المحيطات. ويستمد الاحترار الكوني للغلاف الجوي من تدفئة المحيطات التي يمكن رفع حرارتها بتنوع كبير من العمليات الطبيعية[1790].

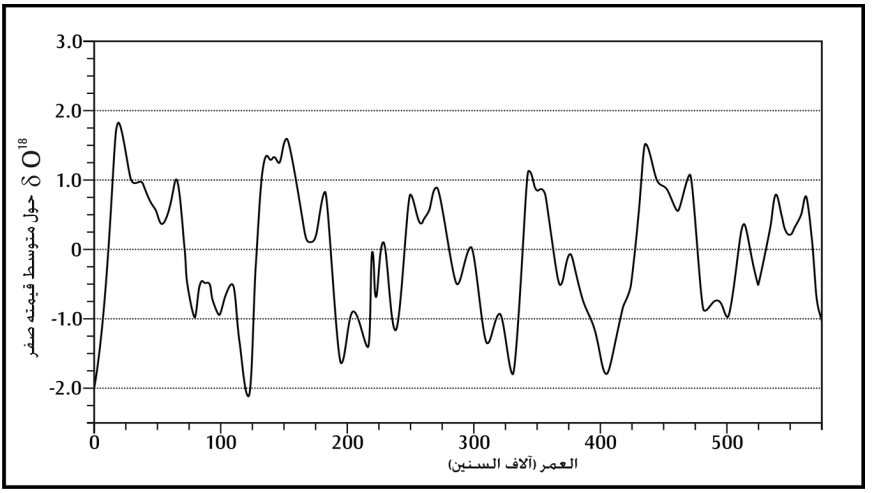
إننا نحتاج إلى أن ننظر إلى ما قبل بضع ملايين السنين لنبدأ بفهم حرارة سطح البحر الحالية؛ فقبل ملايين السنين، كانت الأرض أدفأ، ومع ذلك كان هناك جليد قطبي. ثم تدرجت حرارة سطح البحر من القطبين إلى خط الاستواء، كما كان للمحيطات مستويات من درجة الحرارة، ولكن تيارات قاع المحيط لم تحمل المياه القطبية الباردة إلى مناطق استوائية ببساطة لتنبع هذه المستويات. كما إن حركة الرياح ودوران الأرض والجريان الأفقي، وليس العمودي في المحيط هي عوامل تؤثر في حرارة سطح البحر، وهي عوامل بطيئة ومقدار ما ينتج منها من تغير محدود.

لقد أصبح ممر دريك أعمق قبل 4 ملايين عام، وتطور تيار القطب الجنوبي حول القطبي، وأصبح القطب الجنوبي أبرد، ونما جليد اليابسة وتطور جليد البحر في الشتاء. وأصبح القطب الجنوبي معزولاً، وسبّب ضغط الرياح تياراً عمودياً يتحرك مع المياه تحت السطح الباردة التي تصعد إلى السطح. وبينما ازداد جليد البحر، قُذف الملح الذي غمرته المياه التحتية لكي تصبح المياه السفلى أسمك. وأدى هذا إلى مياه عميقة أبرد وإلى ابتراد عام للمحيطات. وسبّبت المياه السفلى الباردة والجليد على اليابسة عدم توازن للطاقة حتى أصدر المزيد من الطاقة الشمسية إلى الفضاء أكثر مما امتصته المياه. أدى هذا إلى ابتراد

(1789) A. Cazenave [et al.], «Sea Level Budget over 2003-2008: A Reevaluation from GRACE Space Gravimetry, Satellite Altimetry and Argo,» *Global and Planetary Change* (2008) doi: 10.1016/j.gloplach.2008.10.004.

(1790) G. P. Compo and P. D. Sardeshmukh, «Oceanic Influences on Recent Continental Warming,» *Climate Dynamics* (2008), doi: 10.1007/s00382-008-0448-9.

عالمي، وامتلاء المحيطات بمياه عميقة باردة حتى قبل مليون عام. وظهر جليد البحر في النصف الشمالي للكرة الأرضية قبل نحو 2.67 مليون عام.



الشكل 35: تغيرات في تركيب نظير الأكسجين للكائنات الصغيرة القاعية تظهر تغيرات في حرارة مياه المحيط العميقة، استجابة لست دورات جليدية. إن بيانات نظير الأكسجين ممثلة لدرجة حرارة المحيط. وخلال التجلد هناك قيم عليا للأكسجين 18 الذي يعكس حجم الجليد على اليابسة. لاحظ أن الفترات ما بين الجليدية أقصر بكثير من التجلدات، وأنه ليس هناك أمر غير عادي في العصر ما بين الجليدي الحالي[1791].

تعطي ترسبات قاع البحر مؤشراً إلى قوة التيارات في الأزمنة السابقة. وخلال العصر الجليدي الأخير، كانت التيارات قوية، ولكنها ضعفت عندما شحن سطح شمال المحيط الأطلسي بالمياه المنصهرة من الشمال[1792]. وضعفت التيارات السفلى عندما كانت درجة حرارة غرينلاند عالية، وضعفت التيارات خلال درياس الأصغر[1793]، وقويت خلال احترار الهولوسين[1794].

R. Bintanja, R. S. W. van de Wal and J. Oerlemans, «Modelled Atmospheric Temperatures (1791) and Global Sea Levels over the Past Million Years,» *Nature*, vol. 437 (2005), pp. 125-128.

G. Bianchi and I. McCave, «Holocene Periodicity in North Atlantic Climate and Deep- (1792) Ocean Flow South of Iceland,» *Nature*, vol. 397 (1999), pp. 479-482.

L. Tarasov and W. R. Peltier, «Arctic Freshwater Forcing of the Younger Dryas Cold (1793) Reversal,» *Nature*, vol. 435 (2005), pp. 662-665.

S. K. Praetorius [et al.], «Episodic Reductions in Bottom-Water Currents since the Last (1794) Ice Age,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 449-452.

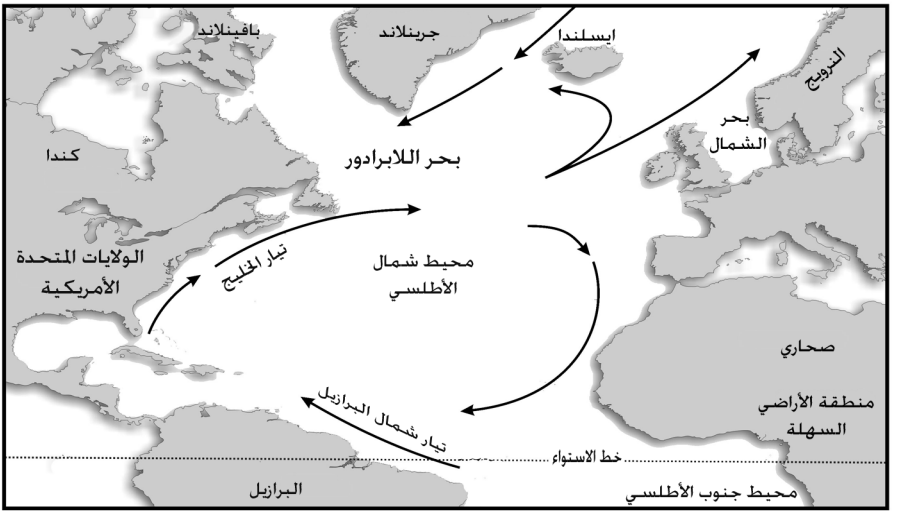
إن للمحيطات الآن طبقة سطح رقيقة دافئة في المناطق الاستوائية وباردة في المناطق البعيدة عن خط الاستواء ومتوسطة البعد بفقدان صاف لطاقة الغلاف الجوي والفضاء. وتنقل المحيطات الحرارة حول العالم. تتراكم المياه القطبية الكثيفة الباردة في القاع. وإن نظام المناخ حساس جداً للمحيطات بسبب الكسب الحراري (المناطق الاستوائية) والخسارات (مناطق بعيدة عن خط الاستواء)، والتبخر، والتدفق (Upwelling) في المناطق الاستوائية، الذي يخفض حرارة سطح البحر، ومقدار الطاقة المتوفر للغلاف الجوي. وهذه العوامل تخفض بالنتيجة نقل الطاقة إلى مناطق بعيدة عن خط الاستواء ينتج منها ابتراد قطبي. وينتج من الانسياب المخفض احترار قطبي. وهذا التضخيم في الابتراد والاحترار في المناطق القطبية يتلازم أيضاً مع أحداث «إل نينو ولانينا». وتحوي المحيطات حرارة تزيد 22 ضعفاً على حرارة الغلاف الجوي. وتتحكم هي، وليس الغلاف الجوي، بتوازن حرارة السطح. إلا أننا نقذف بالديباجات الإعلامية التي تخبرنا خلاف ذلك تماماً، وبأن الزيادات في الحرارة الجوية تزيد حرارة المحيط.

وقبل نحو مليون عام، فرضت العمليات الخارجية (المدارية، والشمسية، والمجرية) دورة 100000 عام على الينابيع المحيطية الاستوائية. وكانت حرارة سطح البحر الاستوائية في ذروة العصر الجليدي الأخير قبل 21000 عام، أبرد من الآن بثلاث درجات مئوية. وكانت الطاقة المتوفرة للغلاف الجوي نحو 20 في المئة أقل من الآن. وقد أتاح هذا تراكم الثلج وتشكيله لصفائح جليدية كبيرة، بينما تزداد حرارة سطح البحر الاستوائية، يزداد التبخر، الذي يأخذ الحرارة من سطح البحر.

يسخن سطح البحر بالطاقة الشمسية، والطاقة تحت الحمراء، ومن الغيوم وغازات الدفيئة. ويعطي هذا حداً أعلى لدرجة حرارة سطح البحر. وبينما تزداد حرارة سطح البحر الاستوائية، يفقد المزيد من الحرارة بسبب انبعاثات الأشعة تحت الحمراء والتبخر. ويتم الوصول إلى درجة حرارة سطح بحر جديدة عندما يتم التوازن بين قوة CO_2 وقوة الأشعة تحت الحمراء بفقدان الطاقة من السطح. وإذا ضوعف محتوى CO_2 الجوي، تزداد درجة حرارة سطح البحر بنحو 0.3 درجة مئوية.

طالما كانت الأرض تدور على المحور القطبي، فسوف تحرك هبوب

الرياح التجارية، والعزم الدوراني بسبب القوة المركزية لتيارات المحيط. ويعتبر تيار البرازيل في المحيط الجنوبي الأطلسي، وتيار اليابان للمحيط الهادي، وتيار الخليج أمثلة جيدة على ذلك. تشكل طبقات السطح الدافئة في المحيط الأطلسي الاستوائي التيار الاستوائي، ويدفع هذا غرباً برياح تجارية وبدوران الأرض. ويدخل الجزء الشمالي من التيار الاستوائي البحر الكاريبي وخليج المكسيك حيث مياه السطح تكون أسخن، وتخرج إلى المحيط الأطلسي الشمالي في قناة بين فلوريدا والباهاماس. يعتبر تيار الخليج «نهراً» في المياه الدافئة لمضائق فلوريدا، وينتهي على طول حافة مجموعة جليد القطب الشمالي. وليس لطبقات السطح الدافئة هذه في البحر الكاريبي طريق للخارج إلا من خلال مضائق فلوريدا الضيقة، وإن الاتجاه شمالاً هو الخيار الوحيد. وتتصاعد درجات حرارة سطح البحر وصولاً إلى درجتين مئوية.



الشكل 36: تيارات شمال المحيط الأطلسي تبين توزيع الحرارة بواسطة تيار الخليج غولف ستريم (Gulf Stream) من مناطق قريبة من خط الاستواء إلى مناطق بعيدة عن خط الاستواء.

تحرك الغربيات (Westerlies) تيار الخليج (Gulf Stream) نحو أوروبا. وبينما هي تفعل ذلك، تتراكم المياه على طول الساحل النرويجي وفي محيط القطب الشمالي. وليس للمياه مكان تذهب إليه، بل هي مجبرة على الانغمار في طول خط المجموعة الجليدية وتعود جنوباً على طول قاع المحيط. وعندما ينساب هذا التيار على طول دائرة خط الطول وتقلب المياه بعيداً عن خط

الاستواء، يسمى هذا «الدوران الجنوبي الأطلسي» (Atlantic Meridional Overturning Circulation). وتيار اللابرادور، هو الطريق الآخر الوحيد الذي يمكن من خلاله إصدار المياه من محيط القطب الشمالي. ويحمل هذا التيار جبال جليد جنوباً ويغمر تحت «تيار الخليج» بالقرب من نيويورك. وعندما تذوب مجموعة الجليد في الصيف وتنخفض ملوحة المحيط، يتقوى تيار اللابرادور (Labrador Current) وتضعف العودة الجنوبية للمياه على طول قاع البحر. وهذه هي الحال بالفعل[1795].

توجد حالة مشابهة في المحيط الهادي إذ إن شكل الساحل يسمح بدوران تيار اليابان باتجاه عقارب الساعة لتسخين ألاسكا، ثم الاتجاه جنوباً ليصبح تيار ألاسكا البارد الذي يبرد كاليفورنيا. لا يبدو أن هناك تياراً راجعاً غير عميق المياه فالشكل الساحلي لا يتطلب ذلك. وعلى الرياح التجارية والغربية أن تتلاشى عندما تنخفض الطاقة الشمسية، ونتيجة لذلك، تحصل أوروبا على جرعة مضاعفة من تخفيض الاحترار. رغم أن حرارة المحيط وكثافته قد يحركان التيارات العميقة، إلا إن تيارات السطح مثل تيار الخليج تحركها رياح تجارية حاضرة دائماً. وفي المحيط الهادي الاستوائي، يؤثر «إل نينو» في المناخ. ويفعل هكذا فوق معظم الأرض، غير أن تاريخ تغير حرارة سطح البحر في المحيط الهادي ليس معروفاً جيداً. وفي بحيرة إل جونكو (جزيرة سان كريستوبال (San Cristóbal، غالاباغوس (Galá Pagos))، استعملت الحيوانات المستحاثة العائمة[1796] كبدائل في محاولة لتحديد تغيرات الحرارة في شرق المحيط الهادي الاستوائي[1797]. وتزداد مستويات البحيرات خلال أحداث إل نينو. وقد قيل إن الـ 50 عاماً الأخيرة كانت الأدفأ خلال 1200 عام خلت تمت فيها رؤية احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير، وإن درجات الحرارة المستدلة من هائمات متحجرة في احترار العصور الوسطى أقل قليلاً من درجات الحرارة المستدلة من هائمات حديثة. ولم تحدد هذه الدراسة ما هي الميزات المحلية التي قد تؤثر في بحيرة إل جونكو (El Junco Lake).

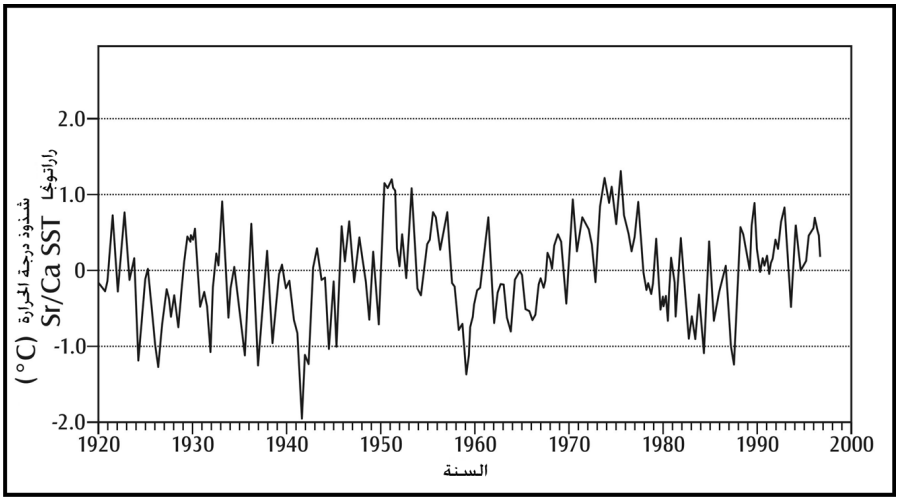
(1795) R. A. Kerr, «Global Climate Change: False Alarm: Atlantic Conveyor Belt hasn't Slowed down After all,» *Science,* vol. 314 (2006), p. 1064.

(1796) المنخربات (Foraminifera).

(1797) J. L. Conroy, «Unprecedented Recent Warming of Surface Temperatures in the Eastern Tropical Ocean,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 46-50.

إننا نعلم جميعاً أن الصيف على شاطئ البحر أبرد والشتاء أدفأ من مناطق مماثلة على اليابسة في الداخل. وهذا لأن طاقة استيعاب حرارة المياه أعلى بكثير من تلك التي عند الصخور والتربة. وتخزن حرارة الشمس في الأمتار القليلة العليا للمحيط. كما أن الحرارة تفقد من الأمتار القليلة العليا للمحيطات. وإذا كانت المحيطات هائجة، فإنها تفقد الحرارة بسرعة أعلى. إن مياه السطح الدافئة تختلط بأعماق تبلغ عشرات الأمتار بسبب الرياح، وبالتالي فإن الحرارة تتشتت إلى الأسفل، وتصل حرارة الصيف على اليابسة إلى عمق متر فقط أو ما يعادله في التربة والصخور.

إن حرارة سطح البحر في تغير دائم. ويمكن تبيان ذلك بقياسات الحرارة، وقياسات نظير الأكسجين أو هائمات السطح (على سبيل المثال، الأصداف العائمة، والمرجانيات) أو تغيرات كيميائية في هذه الهائمات. ويجب اعتماد الحذر الشديد عند قياس حرارة سطح البحر إلا إذا كانت التغيرات طويلة الأمد ودورات الحرارة معروفة جيداً.



الشكل 37: حرارة سطح المحيط الهادي الجنوبي في راروتنغا (Rarotenga) مستمدة من كيمياء المرجانيات (Sr/Ca proxy). تغيرات الحرارة، وصولاً إلى 3 درجات مئوية، ودورات الحرارة الثانوية المتراكبة على دورات أكبر هي ميزة من ميزات هذه القياسات. ليس هناك دلائل على أن حرارة سطح البحر تزايدت مع تزايد إصدارات الإنسان لـCO_2، أو أن الاحترار الخطير يحدث حالياً.

كانت حرارة سطح البحر تقاس في الطرق البحرية الرئيسية للعالم من قبل السفن المارة. وكان هذا عملاً طوعياً لكنه غطى طرق البحر الملاحية فقط. ولم يجر قياس سطح المحيطات كله، وبخاصة في النصف الجنوبي للكرة الأرضية، إذ إن 80 في المئة من هذا النصف مكوّن من محيطات، والشحن بالسفن في المحيطات الجنوبية أقل بكثير من الشحن في النصف الشمالي للكرة الأرضية[1798]. وكانت حرارة سطح البحر تقاس حتى وقت قريب بثرموميتر في دلو من مياه البحر. ولم تكن دقة هذه القياسات أفضل من 0.5 درجة مئوية، وهذا غير دقيق تماماً. لقد أدى التغيير من دلو خشبي إلى دلو من القماش إلى «لااستمرارية» في قياسات درجة الحرارة وإلى أخطاء معنوية. وقيست التيارات أيضاً بطرق بسيطة مشابهة. وكان قسم كبير من قياسات حرارة سطح البحر التاريخية تجري بطرق غير معروفة.

لقد شهدت السنوات الثلاثون الأخيرة قياسات أدق وأكثر انتشاراً لحرارة سطح البحر وتيارات المحيط. وسجلت الطافيات العائمة منذ 1980، حرارة المحيطات على عمق 50 سنتيمتراً، أضيفت هذه القياسات إلى قياسات حرارة مدخل مياه ابتراد السفن، التي تسحب مياه بحر أبرد من عمق 10 أمتار أو نحوها. كما استعملت حساسات بدن السفينة أيضاً. وإن تقدير حرارة سطح البحر التاريخية من تجميع قياسات الدلو، والطافيات العائمة، وحرارة المياه الداخلة لا معنى لها، ومع ذلك فإن هذه البيانات هي التي تستعمل لتقدير التغيرات في حرارة سطح البحر أساساً. إن حرارة سطح البحر والتيار الأقدم من 30 عاماً ما هي إلا قياسات بسيطة فجّة لا يجب استعمالها في نماذج المناخ؛ غير أنها تستعمل.

هناك شك كبير في احترار المحيط الذي يقيس تغيرات منذ خمسينيات القرن العشرين فقط. فهنالك تناقضات وتعارض كبير ظاهر بين نماذج القياس العديدة[1799]. لما كانت القياسات الثرموغرافية العميقة (Bathythermograph Measurements) (XBT) القابلة للتوسع هي الجزء الأكبر في مجموعة البيانات،

E. C. Kent, S. D. Woodruff, and D. I. Berry, «Metadata from WMO Publication No. 47 (1798) and an Assessment of Voluntary Observing Ship Observation Heights in ICOADS,» *Journal of Oceanic and Atmospheric Technology*, vol. 24 (2007), pp. 214-234.

Expendable Bathythermographs (XBT), Bottle and CTD Data. Most Data is XBT and (1799) this XBT Data is Positively Biased.

فيؤدي هذه الانحياز إلى نتاج صنعي بارز من الاحترار الكوني للمحيط. وإذا أزيل هذا الانحياز، يخفض ذلك من تغير محتوى حرارة المحيط منذ الخمسينيات بعامل 0.62[1800][1801].

لقد بيّن نحو 3000 روبوت علمي (ARGO) في المحيطات انخفاضاً في حرارة سطح البحر. ولا تساعد هذه في معايرة قياسات الحرارة «التاريخية» المنحازة، التي تغطّي طرق شحن محدودة فقط. إضافةً إلى ذلك، لا تتعلق قياسات حرارة سطح البحر التاريخية بقياسات الأقمار الاصطناعية. فقد بيّنت نماذج العقود المتعددة للسطح القريب تزايداً في الحرارة الكلية من 1955 إلى 2003، تبعها فقدان دراماتيكي لمتوسط محتوى الحرارة للمحيطات العليا من 2003 إلى 2005[1802][1803]. وينبعي أن يكون هذا «صيحة انذار» لنماذج مناخ الكمبيوتر.

قد يكون الابتراد الحالي لمياه شمال الأطلسي ناتج من تناقص متوسط الحرارة السنوية من الشمس في مناطق بعيدة ومتوسطة البعد عن خط الاستواء، خلال السنين الـ 11000 الأخيرة[1804]. وإن المستويات الآن هي مستويات ذروة التجلد الأخير. وربما كان ابتراد ميل شمال غربي الأطلسي يبشر بفترة تجلد قادمة لا مفر منها[1805]. وعلى الرغم من أن المناخ خلال الـ 11000 عام الأخيرة يوصف بأنه دافئ ومستقر، فلقد كانت هناك تغيرات كبيرة (على سبيل المثال، درياس الأصغر) وصغيرة (على سبيل المثال، احترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير) بارزة. وربما نتج ابتراد المياه المنحدرة شرق الولايات المتحدة الأميركية وكندا بـ 4 ـ 10 درجات مئوية خلال الهولوسين،

(1800) V. Gouretski and K. P. Koltermann, «How Much is the Ocean Really Warming?,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L01610, doi: 10.1029/2006GL027834.

(1801) تزايد المحتوى الحراري للمحيط (0–3000م) بين 1957–1966 وتقديرات 1986–1996 من $12.8 \pm > 8x10^{22}$ Joules.

(1802) J. M. Lyan, J. K. Willis and G. C. Johnson, «Recent Cooling of the Upper Ocean,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L18604, doi: 10.1029/2006L027033.

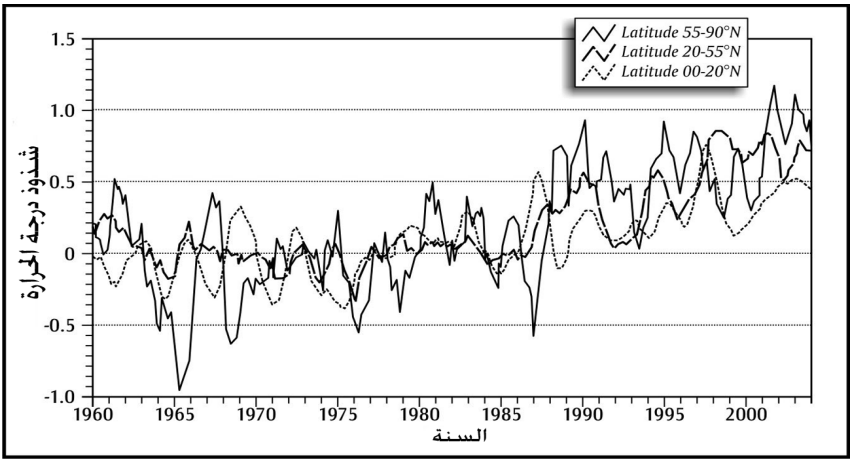
(1803) هذا يعادل عدم توازن إشعاعي عالمي من 0.3− ± 1.0 واط لكل متر مكعب.

(1804) R. Seager [et al.], «Is the Gulf Stream Responsible for Europe's Mild Winters?,» *Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 128 (2002), pp. 2563-2586.

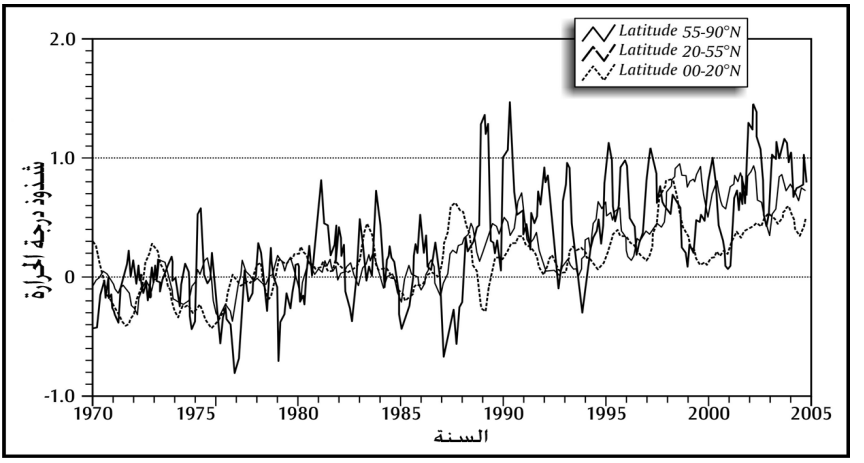
(1805) J. P. Sachs, «Cooling of Northwest Atlantic Slope Waters during the Holocene,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), doi: 10.1029/2006GL028495.

من الحرارة المنخفضة للشمس، مزيدةً الحمل الحراري في بحر اللابرادور ومحولةً تيار الخليج نحو الاستواء.

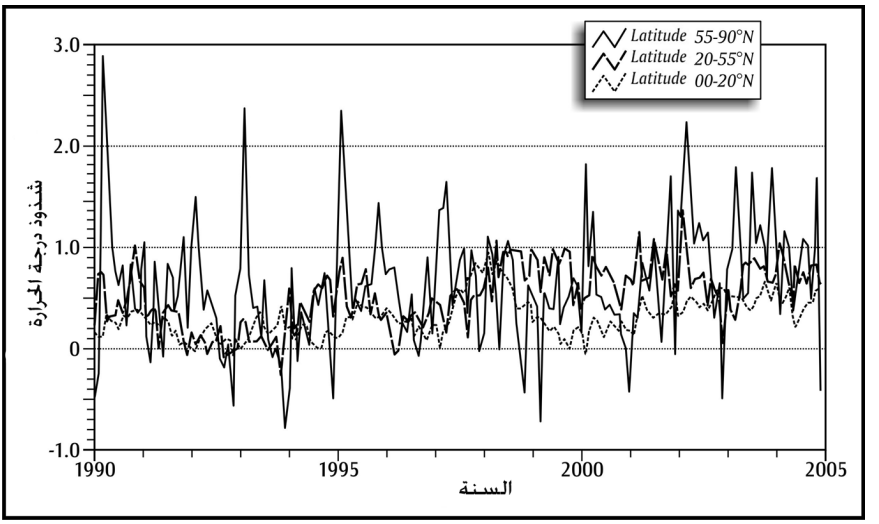
كيف تقيّم البيانات بمجرد ما تقاس حرارة سطح البحر؟ إذا استعملت متوسطات سنوية، أو متوسطات لخمسة أشهر، أو شهرية، فسوف تكون هناك استنتاجات مختلفة. وتبيّن المتوسطات السنوية ارتفاعاً في حرارة سطح البحر، بينما لا تبيّن المتوسطات الشهرية ذلك.



الشكل 38: شذوذ درجة حرارة سطح البحر باستعمال المتوسطات السنوية. ويبين ذلك تغيرات دورية في جميع الأبعاد عن خط الاستواء وزيادة في حرارة سطح البحر منذ 1985 .



الشكل 39: شذوذ درجة حرارة سطح البحر باستعمال المتوسطات لخمسة أشهر. ويبين هذا تغيرات دورية في جميع الأبعاد عن خط الاستواء وزيادة خفيفة في حرارة سطح البحر منذ 1998 .



الشكل 40: شذوذ درجة حرارة سطح البحر باستعمال متوسطات شهرية. ويبيّن هذا تغيرات دورية في جميع الأبعاد عن خط الاستواء، ولا يبيّن زياة في حرارة سطح البحر. وتبيّن الرسوم البيانية الثلاث أنه يمكن اللعب بسهولة بالبيانات لإحداث ناتج مرغوب به.

تبين سجلات تدفق نهر بو (Po) في إيطاليا علاقة بين هطول المطر وتصريف النهر (River Discharge)، كما يتوقع المرء. وفي المئتي سنة الأخيرة تبدلت الفترات الجافة والرطبة توافقاً مع الدورات الشمسية، وظهرت علاقة بين اهتزاز شمال الأطلسي والنشاط الشمسي[1806].

إن للمحيط الأطلسي، وبخاصة شمال المحيط الأطلسي، أثراً على الطقس والمناخ في شمال أميركا وأوروبا. وقد أظهرت طافيات قياس الحرارة في أجزاء خالية من الجليد في المحيط الأطلسي، بين 10 درجات شمالاً و70 درجة شمالاً من كانون الثاني/ يناير 1999 إلى كانون الأول/ ديسمبر 2005، أن توجه المحتوى الحراري كان في تناقص أو ربما مستقراً، ويظهر الاحترار الوحيد شمالاً عند خمسين درجة[1807]. إضافةً إلى ذلك، وضمن مناطق قريبة من خط

(1806) D. Zanchettin [et al.], «Impact of Variations in Solar Activity on Hydrological Decadal Patterns in Northern Italy,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 113 (2008), D12102, doi: 10.1029/2007Jd009157.

(1807) V. O. Ivchenko, N. C. Wells and D. L. Aleynik, «Anomaly of Heat Content in the Northern Atlantic in the Last 7 Years: Is the Ocean Warming or Cooling?,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), L22606.

الاستواء، بيّنت الـ 100 متر العليا من المياه احتراراً، ولكنها بيّنت ابترادا أساسياً بين عمق 100 متر إلى 1000 متر. وإذا لم يكن هناك احترار مقاس في المناطق القريبة من خط الاستواء، فمن الصعب القبول بأن احترار الأطلسي الاستوائي قد أدى إلى تزايد في نشاط الأعاصير.

في المنطقة تحت شمالي المحيط الأطلسي القطبي، تتغير الحركات الدائرية العميقة لبحري اللابرادور وإرمنغر (Irmenger) فجأة، كما حصل عام 2007 ـ 2008. وينتج من هذا دمج لمياه السطح مع المياه العميقة، وامتصاص الغلاف الجوي لـ CO_2. وقد أثرت التغيرات في النصف الشمالي من الكرة الأرضية في حرارة الهواء ومسار العواصف، في المياه العذبة في بحر اللابرادور، وساهم توزيع حمل الجليد في فقدان حرارة متزايد من الماء إلى الهواء، وبمجرد ما أصبحت المياه باردة بما يكفي، بدأ الحمل العميق. وإن هذه العملية معقدة جداً لدرجة أنه من الصعب التوقع متى ستحدث مرة أخرى[1808].

كان دوران شمال المحيط الأطلسي الجنوبي (North Atlantic Ocean Meridional Circulation) أضعف بكثير من اليوم، أو ربما لم يوجد على الإطلاق خلال العصر الجليدي الأخير أوفي نهايته. وتتوقع نماذج المناخ بأن دوران المحيط سيضعف الاستجابة للاحترار الكوني، ولكن الاحترار في نهاية العصر الجليدي الأخير يدل على نتيجة مختلفة[1809]. وباستعمال ممثل كيميائي موجود في مرجانيات برمودا من 1781 ـ 1999، تم الاستنتاج أن دوران المحيط الأطلسي قد بيّن تغيراً متزايداً نحو نهاية العصر الجليدي الصغير (1800 ـ 1850)[1810].

تسود الرياح التجارية والغربية مناطق متوسطة البعد عن خط الاستواء للنصفين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية. وكانت نماذج الرياح خلال السنين الأربعين الماضية تتجه نحو القطبين. وبينما تتحرك الرياح الغربية، يزداد دوران تيارات المحيط، مصدّرةً المزيد من CO_2 من عمق المحيط. ويؤدي هذا إلى

(1808) K. Vage, «Surprising Return of Deep Convection to the Subpolar North Atlantic in Winter 2007-2008,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 67-72.

(1809) J. R. Toggweiler and J. Russell, «Ocean Circulation in a Warming Climate,» *Nature*, vol. 451 (2008), pp. 286-288.

(1810) N. F. Goodkin [et al.], «Increased Multidecadal Variability of the North Atlantic Oscillation since 1781,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 844-848.

احترار أشد ودوران أقوى في حلقة تغذية راجعة قوية، وهو ما يكفي لدفع الأرض خارج العصر الجليدي. وقد وضعت نماذج سابقة للرياح الغربية في المكان الخاطئ، جاعلةً التوقعات خاطئة منذ البداية. واقترحت نماذج مبكرة، أن الرياح تحكمت بدوران تيارات المحيط في السطح والطفوية (Buoyancy) بالنسبة إلى الدورات الأعمق. وإذا أضيفت المياه العذبة إلى المحيطات عندما تدفأ الأرض، فسيؤدي هذا إلى حركة أقل للمحيطات. هذا النموذج غير صالح، فقد أوضحت البيانات الحالية أن للرياح الأثر الرئيسي على دوران تيارات المحيط. وفي الأزمنة الجليدية، لم تكن الأحزمة المناخية تضغط باتجاه خط الاستواء. فعلى سبيل المثال، تحرك النموذج الغربي في أستراليا شمالاً، وكان مركزاً في قيد أضيق. وكانت الرياح أقوى من أيّ وقت.

هناك اقتراح بأن دوران تيارات الأطلسي الجنوبي تباطأت بنسبة 30 في المئة بين 1957 و2004[1811]. وهيمن تيار الخليج على شمال الأطلسي. ينقسم هذا التيار في خط عرض نيويورك، وتجري بعض المياه نحو الجنوب في تيار سطحي، فيما يكمل الباقي شمالاً، مساعداً في تدفئة أوروبا بنحو 5 ـ 10 درجات مئوية. وقد قيس انسياب الحرارة الشمالي ـ الجنوبي باستعمال مجموعة من الأجهزة حول الأطلسي، من الباهاماز إلى جزر الكناري. ولم يُظهِر استرجاع البيانات في الأعوام 1957، و1981 و1992 أي تغير. ولكن، البيانات المقاسة عام 2004 بيّنت انخفاضاً مقداره 30 في المئة حدث بين 1992 و1998. وإذا توقف الدوران الأطلسي الجنوبي، فسوف تتجمد أوروبا. والطريقة الوحيدة لتوقيف الدوران الأطلسي الجنوبي هي وقف حركة الرياح، أو وقف دوران الأرض، أوكلاهما. غير أن الإعلام ذهب إلى «التحذير»، وكانت هناك توقعات مبالغ بها عن ابتراد أوروبا بأربع درجات مئوية، وعُزي ذلك إلى الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان الناتج من إصدارات CO_2، غير أن الأمر لا يتعدى معالجة غير صحيحة لأخطاء قياس[1812]،

H. L. Bryden, H. R. Longworth and S. A. Cunningham, «Slowing of the Atlantic (1811) Meridional Overturning Circulation at 25 N,» *Nature*, vol. 438 (2006), pp. 655-657.

(1812) بناءً على ما يقوله برايدن، كان النقل سنة 1957 في طبقة أضحل من 1000 متر 6 ± 22.9 Sverdrups (1Sv = 106 m^3/s) مقارنة بنقل سنة 2004 لـ 6 ± 14.8 Sv. وإن ترتيب الدقة، 6Sv ± خطأ غير متعلق بكل قياس. ويحذف برايدن الرقمين ويظهر النتيجة كـ6 ± 8.1 Sv (بدلاً من 12 ± 8.1 أو 8.5 ± 8.1 Sv، اعتماداً على نوع الخطأ). وهذه نتيجة غير صحيحة. وإن 8.1 Sv الملاحظ ضمن الشك في القياس وبالتالي فإن النتيجة غير صالحة. وقد تكررت الأخطاء في مقال في الـ *Physics Today* (نيسان/ أبريل 2006، ص 26) وعرضها بتر شيلك من مختبرات لوس ألاماس في *Physics Today* سنة 2007.

مما يدل على أن مجلة *Nature* كانت تسرّعت بنشر البحث ذي الصلة. وإنه للغز محيّر أن المحررين والمراجعين للبحث إياه نسوا أول ما يتعلمه التلاميذ في الفيزياء المدرسية: أخطاء القياس. وإن تحرير بحث «عصا الهوكي ذائع الصيت» لمان وجماعته Mann [et al.] لم يكن أقل انحداراً.

إن توقع يوم الحساب هذا قد دمر بعد عام أو أقل ـ وكان هذه المرة، بدون وهج الإعلان. فقد تم قياس الدوران الأطلسي الجنوبي من أيلول/سبتمبر 2004 إلى أيلول/سبتمبر 2005 مع سياج وتد (Picket Fence) من آلات وضعت شرق جزيرة أباكو (Abaco Island) (الباهاماز) عند 26.5 درجة شمالاً. وسمح سياج الوتد لقياس الملايين من الأمتار المكعبة من الماء في الثانية مدة عام، فبيّن أنه لم تكن هناك دلائل على الإطلاق عن انخفاض في الدوران مقداره 30 في المئة[1813]، وتمّت المصادقة على هذه النتيجة بقياسات مستقلة لتيار الحد الغربي العميق شرق الضفاف الكبرى بين 1999 و2005[1814]. وإن التباطؤ في استجابة اهتزاز شمال الأطلسي، والاختلاف في تحميل بحر اللابرادور قد وصلت إلى درجة أن أي «ضعف» سببه الإنسان للدوران الجنوبي الأطلسي سيبقى ضمن الاختلاف الطبيعي[1815].

تمر الأساطير نزولاً عبر الأجيال. وأحدها هو أن تيار الخليج (دوران الأطلسي الجنوبي) مسؤول عن فصول شتاء أوروبا المعتدلة[1816]. ومصدر تيار الخليج هو خليج المكسيك، وثم ينساب نحو الشمال الشرقي على طول ساحل الولايات المتحدة الأميركية. وعادة ما تقف الأساطير على شاطئ الحقيقة.

تقدم أنظمة دوران المحيط اليوم مقداراً كبيراً من الحرارة الاستوائية إلى شمال الأطلسي. وخلال الشتاء، تُصدَّر هذه الحرارة إلى الهواء الشرقي، فتجعل

(1813) C. S. Meinen, M. O. Baringer and S. L. Garzoli, «Variability in Deep Western Boundary Current Transports: Preliminary Results from 26.5 °N in the Atlantic,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L17610, doi: 1029/2006GL026965.

(1814) F. A. Schott [et al.], «Variability of the Deep Western Boundary Current East of the Grand Banks,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L21S07, doi: 10.1029/2006GL026563.

(1815) M. Latif [et al.], «A Review of Predictability Studies of Atlantic Sector Climate on Decadal Time Scales,» *Journal of Climate*, vol. 19 (2006), pp. 5971-5987.

(1816) R. Seager [et al.], «Is the Gulf Stream Responsible for Europe's Mild Winters?,» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 128 (2002), pp. 2563-2586.

فصول الشتاء الأوروبية معتدلة[1817]. ولكن، معتدلة مقارنةً بماذا؟ إن نظرة تيار الخليج صحيحة ومضللة في آن، وإن لشمال أميركا الواقعة على الساحل الغربي فصول شتاء معتدلة، لكنْ لسبب آخر. كما إن معادل المحيط الهادي لتيار الخليج هو تيار كوشيرو (Kushiro Current) الذي يتدفق شمالاً على طول ساحل آسيا وشرق اليابان، ويتجه شرقاً نحو كاليفورنيا وأوريغون. ولا ينقل أي حرارة شمالاً. وبالتالي لا يمكن لنقل حرارة المحيط أن يفسر الفرق الكبير في مناخ الشتاء بين شمال غرب المحيط الهادي (على سبيل المثال فانكوفر (Vancover) وفلاديفوستوك ضمن خط العرض نفسه في شرق آسيا).

يتغير شكل قاع المحيط باستمرار. ولايغير ذلك مستوى سطح البحر فحسب، ولكنه يغيّر أيضاً عملية نقل المياه في تيارات عمق المحيط والدمج اللاحق للمياه العميقة والضحلة[1818]. إن مقدار النقل، والموقع، والدمج لمياه المحيط العميقة ليس معروفاً تماماً، وتحوي المحيطات من الحرارة 22 ضعفاً أكثر من الحرارة في الغلاف الجوي، وبالتالي فإن التغير في تيارات المحيط يحرك التغير في درجة حرارة الغلاف الجوي، التي تطلق إنذاراً تقول لنا فيه خلاف ذلك، أي إن الغلاف الجوي المحتبس يدفئ المحيطات.

إل نينو

إن اهتزاز إل نينو الجنوبي، الذي يشار إليه بأل نينو (الولد الصغير)، هو تفاعل بين المحيط والغلاف الجوي[1819]. ويحدث إل نينو على الأكثر في أواخر شهر كانون الأول/ ديسمبر، ويبقى شهراً أو ما يعادله وينتج من اقتحام مياه المحيط الدافئة التي تبدل المياه الباردة في شرق المحيط الهادي. فتهطل أمطار غزيرة في الإكوادور، ويُفقَد البلم (سمك Anchovy) أهم أسماك البيرو، ويحدث جفاف في البرازيل، غير أن التأثير أكثر انتشاراً وقسوةً[1820].

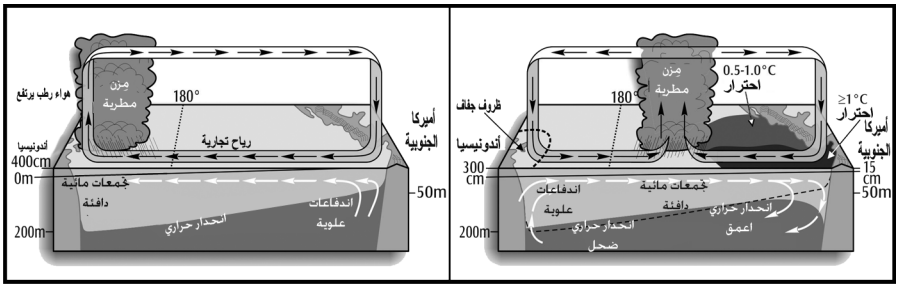
(1817) W. S. Broecker, «Thermohaline Circulation, the Achilles Heel of our Climate System: Will Man-Made CO_2 Upset the Climate Balance,» *Science*, vol. 278 (1997), pp. 1582-1588.

(1818) J. A. MacKinnon, T. M. S. Johnston and R. Pinkel, «Strong Transport and Mixing of Deep Water through the Southwest Indian Ridge,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 755-758.

(1819) K. E. Trenberth, «The Definition of El Niño,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 78 (1997), pp. 2771-2777.

(1820) J. Jianhua and J. Sligo, «The Asian Summer Monsoon and ENSO,» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 121 (1995), pp. 1133-1168.

لقد درس السير جلبرت ووكر (Gilbert Walker) في عشرينيات القرن العشرين في الهند التغيرات في الرياح الموسمية الجنوب غربية. وأدى إخفاق الرياح الموسمية إلى إخفاق في تحقيق المحصول، ومجاعة، واتساع التناقص في عدد السكان. واستعمل ووكر محطات الطقس في داروين (أستراليا) وتاهيتي (Tahiti)، اللتين تمثلان سجلاً عمره 100 عام، وأظهرا علاقة متأرجحة (وبالتالي الاهتزاز الجنوبي). وعندما كان متوسط ضغط أحدهما عالياً جداً، كان ضغط الآخر منخفضاً جداً. ويرتبط الضغط العالي في تاهيتي مع الرياح الشرقية القوية الممتدة حول المحيط الهادي ليعطي رياحاً قوية على طول الساحل الغربي لجنوب أميركا، وقد جلبت هذه الرياح مياه السطح إلى غرب المحيط الهادي مخفضةً مستوى سطح البحر في شرق المحيط الهادي بنصف متر، ومحفزةً رياحاً شديدة على امتداد الساحل الغربي لجنوب أميركا[1821]. وعندما هبط الضغط في تاهيتي وارتفع في داروين، ضعفت الرياح التجارية وانتقل الهواء الدافئ الذي كان في غرب حوض المحيط الهادي شرقاً إلى وسط المحيط الهادي وشرقه، وأعطت الرياح الغربية أمطاراً غزيرةً في وسط المحيط الهادي وجفافاً في أستراليا وإندونيسيا.



الشكل 41: تحول تذبذب إل نينو الجنوبي عبر المحيط الهادي الجنوبي

إن ظاهرة اهتزاز أو تذبذب إل نينو الجنوبي هي موجة متأرجحة تمتد حول العالم[1822]. ويشير ضعف الرياح التجارية الاستوائية إلى بداية حدوث

(1821) G. Meyers, «Variation of Indonesian Flowthrough and the El Niño/Southern Oscillation: Pacific Low-Latitude Western Boundary Currents and the Indonesian Flowthrough,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 101 (1996), pp. 12255-12264.

(1822) A. Anyamba, and J. R. Eastman, «Interannual Variability of NDVI over Africa and its Relation to El Niño/Southern Oscillation,» *International Journal of Remote Sensing*, vol. 17 (1996), pp. 2533-2548.

اهتزاز إل نينو الجنوبي. وتنشأ هذه الرياح من الأنظمة الدافئة عالية الضغط ضمن مناطق على خط عرض 30 ـ 40 في جنوب المحيط الهادي وشماله[1823]. وليس معروفاً ما الذي يسبب ضعف هذه المرتفعات.

يعكس التذبذب الجنوبي التدفقات الموسمية في ضغط الهواء الذي يأخذ شكلاً مختلفاً بين داروين وتاهيتي[1824]. وإن إل نينو يختلف بمقدار 3 ـ 8 سنوات في الطقس بين المحيط الهادي والمحيط الهندي، ويتباطأ المحيط الأطلسي 12 ـ 18 شهراً وراءهما. ويعرف إل نينو (ولانينا، الفتاة الصغيرة) كشذوذ في حرارة سطح البحر لأكثر من 0.5 درجة مئوية حول مركز المحيط الهادي الاستوائي، ولأكثر من خمسة أشهر. ويبقى إل نينو عاماً أو عامين، وتجرف الرياح الاستوائية في المحيط الهادي مياهاً دافئة في غرب المحيط الهادي، وتنبع مياه عميقة باردة على طول ساحل جنوب أميركا، وتأتي المياه الدافئة خلال إل نينو بالقرب من الساحل الأميركي الجنوبي، ولأن التدفق (Upwelling) ينخفض، تُدفأ مياه المحيط الهادي الجنوبي أكثر. تضعف الرياح التجارية في جنوب المحيط الهادي أو تتجه شرقاً، فتهطل الأمطار بغزارة في شرق المحيط الهادي، ويحدث جفاف في غَربِه. وتبين طبقات غبارية طلعية مقتلعة من قلنسوة جليد ساجاما، الموجودة في غرب ألتيبلانو البوليفي (Bolivian Altiplano) اختلافات بارزة في مقدار الطبقات الغبارية ونوعها خلال فترة زمنية طويلة في سجل هذه الأحداث[1825]. ويبيّن لب الثقب من بحيرات في الآنديز الإكوادورية أن إل نينو كان ميزة للمناخ لـ 12000 عام على الأقل[1826]، ولم يغير تكرار أحداث إل نينو لـ 400 عام على الأقل[1827].

(1823) E. M. Rasmusson and T. H. Carpenter, «Variations in Tropical Seas Surface Temperature and Surface wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño,» *Monthly Weather Review*, vol. 110 (1982), pp. 354-384.

(1824) S. G. Philander, *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation* (San Diego: Academic Press, 1990).

(1825) K.-B. Liu, C. A. Reese and L. G. Thompson, «A Potential Pollen Proxy for ENSO Derived from the Sajama Ice Core,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), doi: 10.1029/2006GL029018.

(1826) C. M. Moy [et al.], «Variation of El Niño/Southern Oscillation Activity at Millennial Timescales during the Holocene Epoch,» *Nature*, vol. 420 (2002), pp. 162-165.

(1827) D. C. Verdon and S. W. Franks, «Long-Term Behavior of ENSO: Interations with the PDO over the Past 400 Years inferred from Paleoclimate Records,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), L06712, doi: 10.1029/2005GL025052.

على الرغم من أن لأحداث إل نينو ولانينا آثاراً عميقة في المناطق الاستوائية، فإن لهما أثراً أكثر بروزاً على شذوذ درجة الحرارة العالمية من الـ CO_2، كما حدث عام 1998 على سبيل المثال. ومنذ أن بدأت قياسات الأقمار الاصطناعية لدرجات الحرارة عام 1978، ظهرت تغيرات في درجة الحرارة العالمية بسبب آثار مناخية على النصف الشمالي للكرة الأرضية. ولا يمكن عزو تغيرات كهذه للـ CO_2 لأن التزايد في CO_2، الجوي عالمي[1828]، وهذا مخالف لنماذج الكمبيوتر للـ IPCC، التي تقول:

«إن معظم التزايد الملاحظ في متوسط درجات الحرارة العالمية منذ منتصف القرن العشرين سببه التزايد الملاحظ في تركيزات غاز الدفيئة، وثاني أكسيد الكربون بشكل رئيسي».

تبيّن هذه التغيرات أنه خلال سنوات إل نينو، يكون الطقس في ألتيبلانو (Altiplano) أدفأ وأجف. وتندفق المياه الدافئة خلال لانينا نحو الغرب أكثر من طبيعتها، مجبرة الرياح والأمطار أن تزداد على طول الساحل الغربي لجنوب أميركا. كذلك، يزداد هطول الأمطار في إندونيسيا وأستراليا مع أعاصير وعواصف رعدية، ويصبح المحيط الهادي في جنوب أميركا بارداً ويتزايد نشاط الأطلسي الأعاصيري. إن مقداراً كبيراً من حرارة سطح البحر في المحيط الهندي يسببه إل نينو، كما هي الأمطار الثقيلة في شرق أفريقيا والجفاف في إندونيسيا[1829]. ونادراً ما تحصل عملية مشابهة في المحيط الأطلسي، فيصبح شرق البرازيل أبرد وأجف، بينما تصبح المياه في خليج غينيا (Golf of Guinia) في أفريقيا أدفأ. ويمكن ربط درجة حرارة سطح بحر الأطلسي الاستوائي بإل نينو[1830].

كانت 48 عاماً من الـ 144 عاماً الأخيرة في أستراليا سنوات جفاف في بعض أجزاء القارة. ويحرك إل نينو الجفاف، بينما تجلب لانينا الأمطار. جلب إل نينو

(1828) D. Douglas and J. Christy, «Limits on CO_2 Climate Forcing from Recent Temperature Data of Earth,» *Energy and Environment* (2008) Arvix preprint arXiv 0809.0581.

(1829) N. N. Saji [et al.], «The Dipole Mode of the Tropical Indian Ocean,» *Nature*, vol. 401 (1999), pp. 360-363.

(1830) D. B. Enfield and D. A. Mayer, «Tropical Atlantic Sea Surface Temperature Variability and its Relation to El NOscillation,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 102 (1997), pp. 929-945.

في عام 2002 جفافاً في شرق أستراليا، ثم عاود ذلك عام 2006 (كما هو الحال عادة مع الجفاف). ثم كان هنالك لانينا معتدلة عام 2007 جالبةً بعض الأمطار. ولم تكن هناك أمطار كافية لتقليل وطأة الجفاف، وبخاصة في منطقة أستراليا المنتجة للحبوب (حوض موراي ـ دارلينغ (Murray-Darling)). إن غياب تسع سنوات من لانينا الجالب للأمطار أمر شائع، وكانت لانينا غائبة في الماضي لمدة 15 عاماً. وكان هناك سوء إدارة في استهلاك المياه في حوض موراي دارلينغ استمر لعقود، غير أن الجفاف جزء من الحياة في الأرض الأسترالية. ويقول البعض، بتوثب من إيمان عقائدي يأخذ بالألباب، إن الجفاف ينتج من تغير المناخ الذي يسبّبه الإنسان. وقد تنبأ رئيس وزراء أستراليا الحالي بأن تساقط الأمطار سيتناقص خلال العقود القادمة، رغم عدم إمكانية التوقع بأحداث إل نينو ولانينا. فهل هو مُلمٌ بعلوم لم تكتشف بعد؟ إن سوء الإدارة المزمن مقروناً بالجفاف الذي يسبّبه إل نينو هما سبب جفاف الأنهار، وليس CO_2.

من المعروف أن طاقة الشمس المركزة على اليابسة تبخر المياه من التربة. وأن عملية تحويل المياه إلى بخار ماء تقتضي امتصاص الطاقة من التربة، فتبقى التربة باردة. وخلال الجفاف، تنخفض رطوبة التربة، ويتناقص التبخر، فيتناقص ابتراد التربة، وتسخن الطاقة الشمسية سطح التربة فترتفع حرارة الهواء. إن درجات حرارة الهواء المرتفعة خلال الجفاف هي ليست سبب التبخر، وإنما هي نتيجة نقص التبخر. يسبّب إل نينو في شرق أستراليا شحّة في الأمطار وغطاءً غيمياً أقل. وتوفر الغيوم الأقل مزيداً من الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح التربة. كما إن التزايد في الطاقة الشمسية التي تمتصها التربة أكثر بكثير من التزايد الطبيعي في الطاقة الإشعاعية المرتدة التي تسبّبها الزيادة في CO_2.

تفتح الترسبات البحرية نافذة على أحداث إل نينو الماضية. وقد أعطى حوض مغطى (Sheltered Basin) على حافة الرف البيروفي (Peruvian Shelf)، 80 كيلومتراً غرب ليما، سجلاً تأريخياً لـ 20,000 عام من إل نينو. كانت الميزة الأكثر بروزاً للسجل كله انخفاضاً دراماتيكياً لنشاط إل نينو بين 5600 و6000 عام مضت، تزامن مع الدفء الرئيسي لذروة مناخ الهولوسين. كذلك، كان نشاط إل نينو ضعيفاً بين عام 800 وعام 1250[1831]، وهي الفترة التي ساد فيها احترار

(1831) B. Rein, A. Luckge and F. Sirocko, «A Major Holocene ENSO Anomaly during the Medieval Period,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), doi: 101029/2004GL020161.

العصور الوسطى. وخلال الـ 1000 عام الماضية، كان هناك اتجاه معاكس. ولكن، في أواخر القرن الثالث عشر وأوائل القرن السابع عشر، كانت درجة الحرارة في النصف الشمالي للكرة الأرضية قليلة، غير أن نشاط إل نينو كان عالياً. وخلال القرن التاسع عشر، عندما كان الكوكب يحتر بعد العصر الجليدي الصغير، بدأ نشاط إل نينو بالتراجع. كان متوقعاً أن تكون الحرارة العليا على علاقة مع نشاط إل نينو الأعلى. ومبعث هذا التوقع أن هذه الأحداث تسبب ارتفاعاً في حرارة الهواء العالمية، كما هو متمثل بإل نينو 1997 ـ 1998 الذي أنتج أعلى متوسط درجة حرارة سنوية سجلها قمر صناعي[1832].

حدثت أحداث إل نينو في أيلول/ سبتمبر 2006 ـ أوائل 2007، 2004 ـ 2005، 2002 ـ 2003، 1997 ـ 1998، 1994، 1993، 1991 ـ 1992، 1986 ـ 1987، و1976[1833][1834]. وحدثت أحداث إل نينو رئيسية في 1790 ـ 1793، 1828، 1876 ـ 1877، 1891، 1925 ـ 1926، 1982 ـ 1983 و1997 ـ 1998.[1835] وحَصّل حدث 1997 ـ 1998 على اهتمام خاص حيث دفئت درجة حرارة الهواء إلى 1.5 درجة مئوية (مقارنةً بارتفاع درجة حرارة إل نينو الطبيعية المتمثلة بـ 0.3 درجة مئوية). وتلاه حدث ضعيف للانينيا في أوائل 2008، وأحداث لانينا معتدلة في 2000 ـ 2001، 1999 ـ 2000 و1995، ولانينا مكثفة في 1988 ـ 1989[1836].

على الرغم من أن إل نينو هي أكبر إشارة مناخية سنوية في المناطق الاستوائية، إلا أنك لا تشعر بها إلا في الجزء الجنوبي للكرة الأرضية، ويستجيب لها المناخ الأوروبي في أواخر الشتاء، مع ظروف أبرد في شمال أوروبا ومع ظروف معتدلة في جنوب أوروبا. وقد يكون ذلك بسبب الترابط مع أوروبا من

(1832) B. Rein [et al.], «El Niño Variability off Peru during the Last 20,000 Years,» *Palaeoceanography*, vol. 20 (2005), doi: 10.1029/ 2004PA001099.

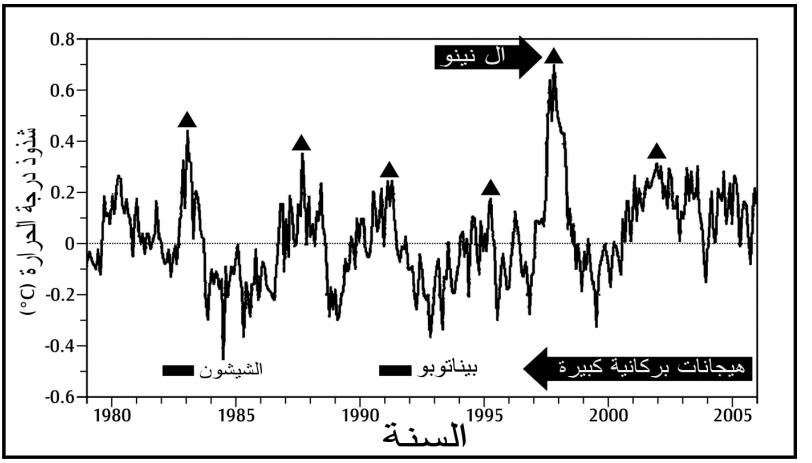
(1833) T. P. Guilderson and D. P. Schrag, «Abrupt Shift in Subsurface Temperatures in the Tropical Pacific Associated with Changes in El Niño *Science*, vol. 281 (1998), pp. 240-243.

(1834) K. E. Trenbath and T. J. Hoar, «The 1990-1995 El Niño-Southern Oscillation Event: Longest on Record,» *Geophysical Research Letters*, vol. 23 (1996), pp. 57-60.

(1835) C. N. Caviedes, *El Niño in History: Storming through the Ages* (Florida: University of Florida Press, 2001).

(1836) B. Wang, «Interdecadal Changes in El Niño Onset in the Last Four Decades,» *Journal of Climate*, vol. 8 (1995), pp. 267-285.

جهة المحيط الهادي عن طريق الستراتوسفير[1837]. ويحرك التفاعل بين إل نينو والرياح الموسمية الآسيوية والمحيط الهندي أشد حالات المناخ في المحيط الهندي وحوله[1838][1839]، كما بينت سجلات تاريخية وسببية[1840] تغيرات في إل نينو والرياح الموسمية الآسيوية خلال عقود حديثة[1841]. وتبيّن حيود مرجانية أنه منذ عام 1846، كان هناك تزايد في التدفق (Upwelling) الموسمي في المحيط الهندي[1842]، وكان تدفق كهذا متعلقاً تاريخياً بإل نينو[1843].



الشكل 42: ارتفاعات وانخفاضات درجة الحرارة خلال 30 عاماً الماضية تبين أثر الاحترار بأحداث إل نينو وأحداث بركانية ابترادية، مع دورات في درجة الحرارة. ليست هناك زيادة بارزة في درجة الحرارة في احترار أواخر القرن العشرين، ويظهر حدث ابتراد إل نينو ما بعد 1998.

(1837) S. Ineson and A. A. Scaife, «The Role of the Stratosphere in the European Climate Response to El Niño,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 32-36.

(1838) N. H. Saji [et al.], «A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean,» *Nature*, vol. 401 (1999), pp. 360-363.

(1839) P. J. Webster [et al.], «Coupled Ocean-Atmosphere Dynamics in the Indian Ocean during 1997-98,» *Nature*, vol. 401 (1999), pp. 356-360.

(1840) M. Pfeiffer and W.-C. Dullo, «Monsoon-Induced Cooling of the Western Equatorial Indian Ocean as Recorded in Coral Oxygen Isotope Records from the Seychelles Covering the Period of 1840-1994 AD,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 25 (2006), pp. 993-1009.

(1841) B. N. Goswami [et al.], «Increasing Trend of Extreme Rain Events over India in a Warming Environment,» *Science*, vol. 314 (2006), pp. 1442-1445.

(1842) N. L. Abram [et al.], «Recent Intensification of Tropical Climate Variability in the Indian Ocean,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 849-853.

(1843) C. D. Charles [et al.], «Monsoon-Tropical Ocean Interaction in a Network of Coral Records Spanning the 20th Century,» *Marine Geology*, vol. 201 (2003), pp. 207-222.

هناك نظريات متنافسة ومتناقضة كثيرة حول أصل أحداث إل نينو. وأحد الاقتراحات يدّعي أن بقعة دافئة شاذة في شرقي المحيط الهادي يمكنها أن تضعف الفارق في درجة الحرارة بين الشرق والغرب، مما يسبب ضعف الرياح التجارية واندفاع المياه الدافئة نحو الغرب[1844]. ولم يُفسر هذا الاقتراح أصل البقعة الدافئة وماهيتها، وأين تقع.

بإمكان الرياح التجارية المتزايدة أن تبني انتفاخاً (Bulge) من المياه الدافئة غربي المحيط الهادي، ويمكن عندها للرياح الضعيفة أن تسبب تحركاً لهذه المياه شرقاً[1845][1846][1847]. ولم تقس تداعيات كهذه مع أحداث إل نينو الحديثة.

وتقول اختلافات في هذه النظرية إن المياه الاستوائية الدافئة تنتشر إلى مناطق بعيدة عن خط الاستواء خلال أحداث إل نينو، فتأخذ المنطقة الاستوائية مقداراً متغيراً من الوقت لإعادة شحنها[1848]. ويمكن لأحداث الطقس الكثيفة في غربي المحيط الهادي أن تحدث ضعفاً في التيارات المتحركة غرباً والتي تحفز حدث إل نينو[1849].

تقترح نظرية أخرى أن البراكين الاستوائية قد تقذف غباراً يخفض من دخل الإشعاع الشمسي لتحفيز وإطلاق إل نينو[1850]. ولم يسجل أي ترابط بين المتغيرين. وتقترح نظريات أخرى أن أحداث إل نينو ترتبط بدورات

(1844) J. Bjerknes, «Atmospheric Teleconnections from the Equatorial Pacific,» *Monthly Weather Review*, vol. 97 (1969), pp. 163-172.

(1845) K. Wyrtki, «El-Niño- The Dynamic Response of the Equatorial Pacific Ocean to Atmospheric Forcing,» *Journal of Physical Oceanography*, vol. 5 (1975), pp. 572-584.

(1846) M. A. Cane and S. E. Zebiak, «A Theory for El Niño and the Southern Oscillation,» *Science*, vol. 228 (1985), pp. 1085-1087.

(1847) T. Yamagata and Y. Masumoto, «A Simple Ocean-Atmosphere Coupled Model for the Origin of Warm El Niño Southern Oscillation Event,» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A 329 (1989), pp. 225-236.

(1848) نظرية اهتزاز إعادة التحميل (Recharge Oscillator Theory).

(1849) R.-H. Zhang, L. M. Rothstein and A. J. Busalacchi, «Origin of Upper-Ocean Warming and El Niño Change on Decadal Scales in the Tropical Pacific Ocean,» *Nature*, vol. 391 (1988), pp. 879-883.

(1850) B. J. Adams, M. E. Mann and C. M. Ammann, «Proxy Evidence for an El-Niño-Like Response to Volcanic Forcing,» *Nature*, vol. 426 (2003), pp. 274-278.

الشمس[1851][1852][1853]. وإذا كانت الحال كذلك، فليست هناك فرصة لتوقعات طويلة الأمد بأحداث إل نينو. وقد يبدأ السلوك العشوائي للمحيط الهادي الاستوائي (ربما محفزاً بالطقس أو بأحداث بركانية أرضية) حدثاً لـ إلنينو[1854]. وقد تكون هناك علاقة بين ترددات في رياح منخفضة المستوى[1855]، وأمطار في النطاق الغربي والمركزي الاستوائي، وسلاسل من الأمواج الشرقية[1856]، وبين إل نينو[1857]. وقد يحمل التداخل بين الأمواج المتدفقة إلى الشرق السفلي وتلك المتدفقة نحو الأعلى[1858] مياه السطح الدافئة شرقاً[1859]. وربما أنتج هذا حدث 2006، ولكنه لا يفسر أحداث إل نينو أخرى.

لا تزال العمليات التي تسبب حدث إل نينو قيد البحث. وتميل أحداث الطقس نوعاً ما لأن تكون فوضوية وقد يكون إل نينو أحدها[1860]. وليست هناك دلائل تدل على أن هذه الأحداث تتعلق بالاحترار الكوني، وليست هناك طريقة يعتمد عليها تسند هذا التوقع[1861]. غير أن هناك بعض الترابطات الخادعة[1862]،

(1851) S. S. Drijfhout [et al.], «Solar-Induced Versus Internal Variability in a Coupled Climate Model,» *Geophysical Research Letters*, vol. 26 (1999), pp. 205-208.

(1852) S. V. Vereteneko [et al.], «Long-Term Variations of the Surface Pressure in the North Atlantic and Possible Association with Solar Activity and Galactic Cosmic Rays,» *Advances in Space Research,* vol. 35 (2005), pp. 484-490.

(1853) H. J. Weng, «The Influence of the 11 Yr Solar Cycle on the Interannual-Centennial Climate Variability,» *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics,* vols. 8-9 (2005), pp. 793-805.

(1854) C. Eckert and M. Latif, «Predictability of a Stochastically Forced Hybrid Coupled Model of El Niño,» *Journal of Climate,* vol. 10 (1997), pp. 1488-1504.

(1855) اهتزاز مادن–جولين (Madeen-Julian Oscillation).

(1856) أمواج كلفن.

(1857) I. Eisenman, L. Yu and E. Tziperman, «Westerly Wind Bursts: ENSO's Tail Rather than the Dog?,» *Journal of Climate,* vol. 18 (2005), pp. 5224-5238.

(1858) أمواج روسبي.

(1859) E. Hackert [et al.], «Role of the Initial Ocean State for the 2006 El Niño,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L09605, doi: 10.1029/2007GL029452.

(1860) E. Tziperman, «El Niño Overlapping of Resonances between the Seasonal Cycle and the Pacific Ocean -Atmoshere Oscillator,» *Science*: vol. 264 (1994), pp. 72-74.

(1861) N. E. Graham, J. Michaelsen and T. P. Barnett, «An Investigation of the El Niño- Southern Oscillation Cycle with Statistical Models. 1. Predictor Field Characteristics,» *Journal of Geophysical Research Oceans*, vol. 92 (1987), pp.14251-14271.

(1862) B. A. Leybourne and M. B. Adams, «El Niño Tectonic Modulation in the Pacific Basin,» *Oceans*, vol. 4 (2001), pp. 2400-2406.

فتوقيت اندفاعات الزلازل (الناتجة من نشاط زلزالي متزايد عند مرتفع شرق المحيط الهادي East Pacofic Rise) يتعلق بشدة بدورات إل نينو[1863][1864]، وقد بين بعض علماء الفلك علاقة بين النشاط الشمسي وهذه الدورات[1865].

ينتج النشاط الزلزالي في مرتفع شرقي الهادي (East Pacific Rise) من صخور مفصولة عن بعضها البعض تصطدم بكتل من الصخور المنصهرة الناشئة. ويُحدث هذا زلازل. إن نحو 85 في المئة من براكين العالم بحرية، وغير مرئية، وغير منفجرة وتتجاهلها IPCC. وإن مرتفع شرقي الهادي هو أحد المراكز المنتشرة الأكثر نشاطاً على الأرض، مع الآلاف من الشقوق البحرية التي تطلق مياه ساخنة وانفجارات تُركّز حرارتها في جزء صغير من المحيط[1866]. وتصل حرارة بعض هذه الشقوق إلى 420 درجة مئوية، فتندفع مجاميع الزلازل تلفظ حجمها بأعماق بين 10 ـ 33 كيلومتراً على امتداد أيام إلى أسابيع، وزلازل كهذه ضحلة ومؤثرة.. وتزداد بسببها معدلات دفع المياه الحارة من الشقوق البحرية وترتفع الماغما بعد تجمعات الزلازل.

تحوي حمم قاع البحر البازلتية صخوراً منصهرة، تبلغ على الأقل 100 ضعف حجم المياه اللازمة لابتراد واحدة منها. وتقول أقل التقديرات إن 100 كيلومتر مكعب من الحمم على الأقل يندلع في قاع البحر سنوياً، أي ثلاثة أضعاف الصهارة المعادلة لاندلاع بركاني أرضي كبير (على سبيل المثال، سانتوريني (Santorini)، وكراكاتوا (Krakatoa)). وهذا يعني أنه يتطلب في كل عام 10,000 كيلومتر مكعب من مياه البحر على الأقل لتبريد المجموعة السنوية من الحمم الجديدة، وإن طول السلاسل البركانية البحرية لارتفاع منتصف المحيط هو 64,000 كيلومتر. وبالتالي، فإن الطاقة الصادرة من تبريد حجم كهذا من الحمم كبيرة جداً[1867].

(1863) D. A. Walker, «More Evidence Indicates Link between El Niños and Seismicity,» *EOS*, vol. 76 (1995), p. 33.

(1864) M. J. McPhaden, «Genesis and Evolution of the 1997-98 El Niño,» *Science*, vol. 283 (1999), p. 950.

(1865) T. Landscheidt, «Solar Activity Controls El Niño and La Niña,» *ESA Special Publication*, vol. 463 (2000), p. 135.

(1866) W. J. Morgan, «Deep Mantle Convection Plumes and Plate Motions,» *Bulletin of the American Petroleum Geologists*, vol. 56 (1972), pp. 203-213.

(1867) على الأقل 4.5×10^{21}.

قد ينشأ إل نينو في مرتفع غالاباغوس (Galapagos) النشيط بركانياً في الاتجاه الشرقي ـ الغربي. إن لهذه المنطقة موضعاً تكتونياً غير عادي مع ارتفاع محيطي (Ocean Ridge) منغمر تحت نطاق البركان القاري النشيط ومع توجهات تيارية محيطية استوائية متزامنة مع الارتفاع. فإذا استمد إل نينو من الصفائح التكتونية، فإن عمليات تفاعل موائع الأرض مثل نقل الحرارة بالحمل من الصخور المنصهرة، ومن تيارات المحيط، والتدوير في الغلاف الجوي، مهمة جداً. إن مراكز الاندلاع (Eruption Centers)، مثل ارتفاع شرق المحيط الهادي وجزر غالاباغوس، هي مواضع نقل لكميات كبيرة من الحرارة إلى مياه البحر من النشاط البركاني التحت بحري، بغضّ النظر عن الاندلاع الرئيسي. تعدل مياه البحر، الدائرة في براكين قاع البحر المبردة، الصخر البارد بإضافة الماء، والصوديوم ومواد أخرى إلى الصخور، وتحدث التفاعلات الكيميائية خلال تعديل حرارة الصخور. كما إن مياه البحر ترشح (Leach Out) مواد مثل المعادن من الصخر المبرد. وتنبثق مياه البحر المعدلة إلى السطح كينبوع حار. وهذه الينابيع البحرية الحارة تتكون نمطياً على امتداد الشقوق الوسطية لمرتفعات منتصف المحيط، وتطلق مواد سوداء من معادن كبريتية إذا كانت حارة جداً (مدخنات سوداء) أو مواد بيضاء من معادن إذا كانت دافئة (مدخنات بيضاء). وتحدد المدخنات بقياس الحرارة، واقتفاء الغازات والجسيمات الحارة في مياه البحر.

إن مرتفعات منتصف المحيط مناطق من قشرة الأرض يوجد فيها انسياب كبير للحرارة، من عمق الأرض إلى السطح، وإن لحرارة سطح البحر علامة تكتونية[1868]. إن نقل الحرارة البركانية عن طريق مياه البحر الدائرة هي عملية نقل حراري عالمية رئيسية، حيث إن أحجاماً محلية من المحيط تصبح حارة بسرعة. وتعلن اندفاعات منتصف المحيط عن نشأة الصخور المنصهرة التي تحتاج إلى الابتراد. وهذه تسبق مباشرة أحداث إل نينو، مما لا يدل على ترابط فقط بل على علاقة سببية أيضاً[1869][1870].

(1868) <ftp://ftp.ncep.noaa.gov/pub/cmb/sst>.

(1869) H. S. Shaw and J. G. Moore, «Magmatic Heat and the El Niño Cycle,» *EOS,* vol. 69 (1988), p. 1553.

(1870) D. A. Walker, «Seismic Predictors of El Niño Revisited,» *EOS*, vol. 80 (1999), pp. 25-26.

يعطي مركز معلومات المسح الزلزالي الوطني الجيولوجي الأميركي(The US Geological Survey National Earthquake Information Center (NEIC)) بيانات من عام 1600[1871]. ويعطي مركز خدمة الدوران الأرضي الدولي (The International Earth Rotation Service (IERS) سرعات دوران تأريخية للأرض[1872]. ويبيّن منحنى لإل نينو من وكالة علم الأرصاد الجوية اليابانية[1873] مرسوم مقابل التكرار المتزايد للزلازل، والتزايد في سرعة دوران الأرض، ترابطاً مدهشاً. وكان الاستثناء هو حدث إل نينو 1982 ـ 1983 الذي حدث مع تكرار أعلى من الزلازل وتناقص في دوران الأرض. وفي عام 1982، ضرب 203 زلزال في شرق المحيط الهادي تقع على أبعاد ثلاث درجات جنوباً و177 درجة شرقاً. وكانت المنطقة هادئة زلزالياً لمدة 400 عام. وابتدأ احترار محيط إل نينو في وسط المنطقة الاستوائية (5 درجات شمالاً و5 درجات جنوباً، و150 درجة شرقاً إلى 160 درجة شرقاً) ثم تحرك شرقاً. وفي تسعينيات القرن العشرين، أصبحت الزلازل في شرق المحيط الهادي أكثر شيوعاً من الثمانينيات. وخلال التسعينيات، كان هناك تباطؤ نسبي في دوران الأرض، وكنتيجة، كان تكرار إل نينو في التسعينيات أعلى من الثمانينيات.

من ناحية أخرى كان احترار سطح البحر في شرق المحيط الهادي يتطلب عاملاً آخر. وهذا العامل هو ضعف الرياح التجارية وتيارات المحيط في منطقة المحيط الهادي الاستوائية. ويمكن أن يسبب تباطؤ دوران الأرض ضعفاً كهذا. وعندما تندلع مقادير كبيرة من الصخور المنصهرة على امتداد منتصف مرتفعات المحيط أو في مكان آخر، يزداد الجمود الدوراني للأرض وتنخفض سرعة دورانها. وعندما يتوقف الاندلاع، يتناقص الجمود الدوراني وتزداد سرعة الدوران تدريجياً.

في أماكن أخرى، يظهر شذوذ حرارة سطح البحر متلازماً مع مجموعة الزلازل، ولكنه يأتي خلفها، ويبطئ هذا التراجع حركة الحرارة في الصخور لأنها عازل جيداً. يتطلب نقل الحرارة من عمق 10 كيلومترات حوالى شهرين في بحر الأدرياتيك والمتوسط، ولكن الرقم في شرق المحيط الهادي يكون

(1871) <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>.

(1872) <http://www.iers.org/iers/earth>.

(1873) <http://www.coaps.fsu.edu/pub/JMA-SST-Index>.

أقل، ربما يعود السبب إلى القشرة الأرق والحجم الأكبر من الصخور المنصهرة القريبة من السطح[1874].

على الرغم من وجود إشارات تفيد بأن الزلازل قد تؤثر في الطقس، إلا أن القليل من الدراسات أجري حول الظروف الجيوفيزيائية اللازمة لتكوين العاصفة[1875]، ويمكننا التفكر بما يلي: ترتفع الصخور المنصهرة لأنها أخف من الصخور الصلدة المحيطة بها. وتخفض هذه الصخور المنصهرة من جاذبية الأرض في موقع الارتفاع فيغير هذا الضغط الجوي. والقليل من التغير في الجاذبية (0.3 إلى 0.4 ميكروغال) سينتج تغيراً جوياً مقداره مليبار. وتبين مقاييس الثقل النوعي الفائقة (Superconducting Gravimeters)[1876] تحولات في الجاذبية من 6 ميكروغال في نماذج طقس نموذجية وتحولات قصوى مقدارها 45 ميكروغال. وقد تنتج التدفقات الجوية الإقليمية الصغيرة للاهتزاز الجنوبي، المكونة نمطياً من 4 إلى 6 مليبار، تغيراً من 2 ميكروغال في الجاذبية[1877].

إن النشاط البركاني البحري محلي جداً بالمعنى الكوني. وعلى الرغم من أن الطاقة الشمسية أكبر بكثير من الطاقة الجيوحرارية، إلا أن تركيز الطاقة الجيوحرارية هو الذي قد يبدأ إل نينو. تنتج مجموعة من الصخور الخفيفة المنصهرة تغيرات في الجاذبية في مستوى المليغال، فإن تغيرات أكثر من الميكروغال لها علاقة بالطقس. إن نطاق الضغط العالي للاهتزاز الجنوبي يقع فوق أكثر مرتفع ديناميكي لمنتصف المحيط، وهو مرتفع المحيط الهادي الشرقي. وإن النطاق منخفض الضغط للاهتزاز الجنوبي متمركز شمال داروين، فوق بحر باندا (Banda). إن بحر باندا هو نقطة اتصال المحيط الهادي، والصفائح الأسترالية واليوراسية التكتونية. لقد ارتفعت جبة الأرض (Mantle) إلى 21 كيلومتراً من السطح في قوس بحر باندا، و14 كيلومتراً من السطح في عمق

(1874) H. P. Johnson [et al.], «Earthquake-Induced Changes in a Hydrothermal System on the Juan de Fuca Mid-Ocean Ridge,» *Nature*, vol. 407 (2000), pp. 174-177.

(1875) M. D. Wood and N. E. King, «Relation between Earthquakes, Weather and Soil Tilt,» *Science,* vol. 197 (1977), pp. 154-156.

(1876) H. Sun [et al.], «Comprehensive Comparison and Analysis of the Tidal Gravity Observations Obtained with Superconducting Gravimeters at Stations in China, Belgium and France,» *Chinese Science Bulletin*, vol. 44 (2008), pp. 750-755.

(1877) R. Widmer-Schnidrig, «What Can Superconducting Graviments Contribute to Normal-Mode Seismology,» *Bulletin of the Seismological Society of America*, vol. 93 (2003), pp. 1370-1380.

ويبر (Weber Deep) و7 كيلومترات من السطح في شمال بحر باندا. وقد اقترح أن هذا الجسم الكبير من المادة الحارة الضحلة يؤثر في الجاذبية في المنطقة، وبالتالي يؤثر في انسياب الضغط الجوي للاهتزاز الجنوبي (الذي ينمذج إل نينو). فهل يجب أن ننظر إلى الأرض لشرح أحداث إل نينو ـ لانينا؟

تتشكل العواصف عند مرور الرياح بالتدرجات الأفقية العليا للضغط الجوي، وتحدث الزلازل والكتل المنصهرة من الصخور الصاعدة تغيرات محلية كبيرة في الضغط الجوي. وقد يغير هذا بشكل بارز نماذج تيارات المحيط ويؤثر بالتالي، وبالتضامن مع الضغط الجوي، في الطقس، وتشكيل الأعاصير، ودوران تيارات المحيط ـ الغلاف الجوي. وقد تكون موجة الحرارة التي اجتاحت أوروبا عام 2003 قد نتجت من اندفاع سابق من التدفق الجيوحراري الذي أنتج أحداث زلازل الأدرياتيكي، والإيجي، والجزائري في العام ذاته. وقد يكون المشهد كله تتحكم به أحداث في حدود جبّة ـ لب الأرض التي تولّد اندفاعات إلكترومغنطيسية، وجاذبية ومدارية[1878].

دورة الماء

تتجاهل نماذج تغير المناخ الحالية سلاسل موثقة جداً، ومتعددة السنين، متبادلة من العمليات الهيدروميتورولوجية التي سجلت خلال السنوات المئة الماضية، وفيها ربطت سلسلة أحداث من 21 عاماً تضمّنت معدلات هطول الأمطار، وتدفقات الأنهر، ودرجة حرارة الهواء، مع نشاط كلف الشمس، بشكل جيد[1879]. وفي أستراليا، سجل 40 فيضاناً رئيسياً من 1900 إلى 1982، حدث 24 فيضاناً منها خلال الدورة الأولى من دورة كلف الشمس الثنائية و16 منها في الدورة الثانية، مظهرة مرة أخرى العلاقة القوية بين النشاط الشمسي والمناخ[1880].

(1878) B. Leybourne [et al.], «Tectonic Forcing Function of Climate-Revisited: Four Elements of Coupled Climate Evidence of an Electromagnetic Driver for Global Climate,» *New Concepts in Global Tectonics*, (2006), p. 40.

(1879) W. Alexander, «Locally-Developed Climate Model Verified,» *Water Wheel*, vol. 6, no. 1 (2007), pp. 27-29.

(1880) J. Francou and J. A. Rodier, «World Catalogue of Maximum Observed Floods,» *International Association of Hydrological Series* (1984).

إن النظام الكوني من حيث المبدأ هو تفاعل بين الأرض الصلبة، والمحيطات، والهواء والحياة مع شيء من دخل يأتي من خارج الأرض. وتتحكم المياه بدورة الكربونات خلال تاريخ الزمن وتصقل بالحياة، وبعمليات إعادة تدوير الصفائح التكتونية الرئيسية، وتحويل الصخور إلى تربة[1881]. وعلى الرغم من أنه قد يكون هناك بعض النقاش عن معدلات التجوية، فإن القصة هي نفسها[1882]. وربما كانت هناك فترات حماسية من الزمن على الأرض عندما كان هناك مزيد من البراكين، وكميات كبيرة من CO_2 تمّ ضخها في الغلاف الجوي، مع كميات متزايدة من الكربونات طمرت في الترسبات، وكان متوسط حرارة السطح العالمية 5 ـ 6 درجات مئوية أدفأ من الحاضر[1883]. وكانت التجوية السليكاتية (Silicate Weathering) لتشكيل التربة وتثبت المواقع تحت البحرية، وترسب الكربونات هي الحاجز أيضاً لتوقيف أثر الدفيئة الجارية[1884]. وستبقى الأرض تعمل ما كانت تعمله دائماً، سواء عاش الإنسان عليها أم لا.

تتغلب دورة الكربونات على الآراء المُروَجة عن الاحترار الكوني على حساب دورة الماء. وضمن مدى واحد، تعمل المياه ببطء على طرف من الكوكب ويعاد تكريرها بكميات من قاع المحيط الرطب في عمق الأرض، وهذه المياه، مع بعض المياه الأصلية من الكوكب، تصدر إلى السطح بالبراكين.

ضمن مدى آخر، تمثل حركة المياه على سطح الكوكب، والهيدروسفير والغلاف الجوي الحركة الأكبر للكتل والطاقة في أغلفة الأرض الخارجية. وقد بيّن التركيب النظيري لمياه النهر بالإضافة إلى معلومات من نتح (Transpiration) النبات، وتبخر التربة، أن دورة الماء الأكبر تتحكم بدورة الكربونات الأصغر[1885].

(1881) S. Franck, K. Kossacki and C. Bounama, «Modelling the Global Carbon Cycle for the Past and Future Evolution of the Earth System,» *Chemical Geology*, vol. 159 (2007), pp. 305-317.

(1882) K. Caldeira and J. F. Kasting, «The Life Span of the Biosphere Revisited,» *Nature*, vol. 360 (1992), pp. 721-723.

(1883) E. Tajika, «Carbon Cycle and Climate Change during the Cretaceous Inferred from a Biogeochemical Carbon Cycle Model,» *Island Arc*, vol. 8 (1999), pp. 292-303.

(1884) T. Nakamori, «Global Carbonate Accumulation Rates from Cretaceous to Present and their Implications for the Carbon Cycle Model,» *Island Arc*, vol. 10 (2001), pp. 1-8.

(1885) P. R. Ferguson and J. Veizer, «Coupling of Water and Carbon Fluxes Via the Terrestrial Biosphere and its Significance to the Earth's Climate System,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), D24S06, doi:10.1029/2007/JD00843.

وهناك عوامل أخرى تؤثر في النباتات مثل CO_2 والمواد الغذائية ودرجة الحرارة، وهي ليست المحركات الوحيدة لنمو النبات.

لما كان بخار الماء هو غاز الدفيئة الرئيسي (أو غاز البيوت الزجاجية الرئيسي)، فإن كميات هائلة من الطاقة تبقى محبوسة في المحيطات فيما تنقل كميات كبيرة من الطاقة في عمليات ذوبان المياه وتبخرها. ومقارنةً بالمياه، فإن CO_2 غاز أثري الوجود في الغلاف الجوي، ومركب ثانوي في أنظمة هذا الغلاف والغلاف المائي «الهيدروسفير». وتُحرِك الطاقة الشمسية دورة الكربونات عن طريق دورة الماء.

خلافاً للاعتقاد السائد، لا تتحكم دورة الكربونات بالمناخ، وإنما دورة الماء هي التي تتحكم، وإن بخار الماء هو غاز الدفيئة الرئيسي في الغلاف الجوي. ويمثل انسياب بخار الماء الأرضي أحد أكبر تحركات الكتل والطاقة في غلاف الأرض الخارجي، غير أن المساهمات النسبية لانسياب الماء غير البيولوجي وتلك التي تنظم فقط بفيزيولوجيا النبات ليست معروفة جداً.

الصخور التي جعلت الإنسان مجنوناً

رفع الأدميرال السير جيمس روبرت غراهام عام 1831، علم بريطانيا على أرض بركانية ظهرت فجأةً بالقرب من صقلية، كان اسمها غراهام بنك (Graham Bank) وطالبت بها إنجلترا، كما طالبت بها «مملكة الصِقلّيتان» (Kingdom of the Two sicilies) التي سمتها كذلك إيزولا فرديناندیا Isola (Ferdinandea)، وجزيرة جولي بالفرنسية (L'Isle Julia)، وسمّتها قوى أخرى عديدة نيريتا (Nerita)، هوثام (Hothan) وغيرها من الجزر المؤقتة، وسيكا (Scicca) وكوراو (Corrao). وفي الخلاف الدائر على ملكيتها، وصلت فرنسا و«مملكة الصقلّيتان» إلى حرب تقريباً. وكان لإنجلترا ومملكتي صقلية مفاوضات دبلوماسية. وخلال النقاش الدبلوماسي المحتدم، غاصت الجزيرة بهدوء تحت الماء.

ظنت الطائرات الحربية الأميركية عام 1987 أن كتلة داكنة من 8 أمتار تحت مستوى سطح البحر، كانت غواصة ليبية، فهاجمتها بقذائف تحت الأعماق. وعندما هاج البركان في شباط/فبراير 2000 مرة أخرى، تحرك دومينيكو ماكالوزا، وهو جرّاح وغوّاص وضابط شرف لتراث صقلية الثقافي، وأقنع تشارلز وكاميلا، القريبين الباقيين لملوك البوربون «للصقليتين»، بتمويل إطلاق

لوحة رخامية وزنها 150 كيلوغراماً إلى بركان يقع على عمق 20 متراً تحت مستوى سطح البحر. وستبرئ ملكية اللوحة إذا ظهر البركان مرة أخرى فوق مستوى سطح البحر. وقد وضعت اللوحة تحت الماء في أيلول/سبتمبر 2001. وبحلول تشرين الثاني/نوفمبر 2002، قطعت إلى 12 قطعة من أشخاص غير معروفين.

ليس لهذه الصخرة قيمة تذكر، حيث تفتقر إلى من يستخدمها كأرض مملوكة، كما إنها لا تمتلك جدوى علمية، ومع ذلك كاد الفرنسيون وعائلة آل بوربون أن يعلنا بسببها حرباً قبل 170 عاماً، ولايزال الإنجليز والإيطاليون في جدال محتدم حولها. أظهرت أرض «غراهام بانك» أن أي قرار سياسي يتخذه البشر لا جدوى له، فإن اليابسة ترتفع وتنخفض، ومستوى سطح البحر يرتفع وينخفض، وتتغير المناخات مثل ما فعلت منذ بدء الزمن.

إن قوى السيرورات الطبيعية أعظم بكثير من غرور الإنسان.

الفصل السابع

الهـــواء

سؤال: هل تبيّن قياسات الثرمومتر أن الكوكب يحتر.

الجواب: لا.

سؤال: هل تبيّن قياسات درجة حرارة أخرى أن الكوكب يحتر؟

الجواب: لا.

سؤال: هل أن الـ CO_2 الجوي من النشاط البشري يزداد؟

الجواب: ممكن.

سؤال: هل يقترب الـ CO_2 الجوي من مستوى خطير؟

الجواب: لا.

سؤال: هل تسبّب حرارة البحر المرتفعة المزيد من الأعاصير؟

الجواب: لا.

سؤال: هل تؤثر الغيوم في المناخ؟

الجواب: نعم.

ليس هنالك شيء اسمه أثر الدفيئة أو الاحتباس الحراري. ولا يتصرف الغلاف الجوي كبيت زجاجي أو كغطاء عازل يمنع انفلات الحرارة من الأرض. وهنالك قوى متنافسة من التبخر، والنقل، والترسب، والإشعاع توازن الطاقة في الغلاف الجوي.

إن قياسات الثرمومتر التاريخية خاطئة، وفيها انحياز، ولها ترتيب دوني في الدقة، فهي لا تمثل حرارة سطح الكوكب بأية طريقة، إنما هي ببساطة مجموعة من قياسات متفرقة لحرارة أجزاء من سطح اليابسة، تقع تحت تأثير التمدن واستعمالات اليابسة المتغيرة. وإن نوعية البيانات المستحصلة منها لا ترقى إلى مستوى بيانات البحث، وبالتالي لا يمكن استخدامها للوصول إلى استنتاجات عن الاتجاهات المستقبلية للمناخ أو الجيولوجيا الحرارية للكوكب.

هذا وتعطي قياسات مأخوذة من سواتل ومناطيد بيانات حرارية أكثر دقة، وقد تبين منها بأنه ليس هناك احترار كوني. لقد أعطت تفويضات الحرارة المقاسة بالثرمومتر اتجاهات مناخ عامة غير دقيقة بما يكفي لتوقع درجة حرارة كونية.

يحوي الغلاف الجوي على 800 مليار طن من الكربون، بينما تحوي المحيطات على 39,000 مليار طن منه، وتحوي صخور السطح على 65,000,000 مليار طن. وتحوي صخور الجبة (Mantle) والقشرة (Crust) العميقة للأرض على مزيد من الكربون. ويحتل الكربون الجوي فقط 0.001 في المئة من مجموع الكربونات في القشرة العليا للأرض، والمحيطات، والحياة، والغلاف الجوي. وتحوي التربة على كمية من الكربون تزيد على كميته الكلية في الأحياء والهواء مجتمعان. وفي كل عام، يتبادل 18 في المئة من CO_2 الجوي مع الأحياء والمحيطات، ويبقى CO_2 المنتج اليوم في الغلاف الجوي من 4 إلى 5 سنوات. وقد تجاهلت IPCC كثيراً من مصادر ومقادير لـ CO_2 (Sources and Sinks of CO_2). فجاءت استنتاجاتها ملتبسة ومخطوءة.

أظهرت قياسات CO_2 التاريخية أن هناك أزمنة في القرنين التاسع عشر والعشرين، كان فيها محتوى CO_2 في الغلاف الجوي أعلى بكثير من محتواه اليوم. ولم تُربَط قياسات CO_2 التاريخية أو تُضمَّن مع القياسات الحديثة فكيف يمكن استنتاج الاتجاهات طويلة الأمد لـ CO_2 في الجو. وإن معظم القياسات الحديثة مرفوضة في حين أظهرت قياساته المصححة اتجاهات موسمية، وتزايداً في تركيز المقاس خلال الـ 50 عاماً الأخيرة. وقد بيّنت الاتجاهات الموسمية أن CO_2 يُلغى بسرعة من الغلاف الجوي في موسم النمو الحيوي، في النصف الشمالي للكرة الأرضية.

كانت الأعاصير أكثر شيوعاً في الأزمنة السابقة، وارتبط ضررها

بديموغرافيات عدد السكان وممتلكات الساحل الثمينة، وليس بدرجة حرارة سطح البحر. وتُحدِث الأعاصير ضرراً متزايداً فقط لأن الإنسان أقام المزيد من البُنى بالقرب من السواحل لكي تدمرها الأعاصير.

هذا ولم تُشمَل الغيوم في نماذج المناخ، على الرغم ما للغيوم من أثر بارز في المناخ. ولم يتم اعتبار تشكل الغيوم منخفضة المستوى بواسطة الإشعاع الكوني في نماذج المناخ التي اعتمدتها IPCC، على الرغم من التجارب والملاحظات التي تبين أن الشمس والأشعة الكونية والغيوم قد تكون محركات رئيسية للمناخ.

أثر الدفيئة (الاحتباس الحراري)

إن كلاّ منّا يعلم ما هو أثر الدفيئة. أصحيح ذلك؟ أطلب من شخص ما أن يشرح لك كيفية عمل أثر الدفيئة. هناك احتمال كبير جداً أن لا تكون لديه فكرة. فما هو أثر الدفيئة حقيقةً؟

إن استعمال مصطلح «أثر الدفيئة» أو أثر البيت الزجاجي (Greenhouse Effect) خطأ تام. فالدفيئة تستعمل لزيادة نمو الزرع، بخاصة في المناخات الباردة. إذ إن البيت الزجاجي يمنع الابتراد بالحمل، وهي العملية الرئيسية لنقل الحرارة في الغلاف الجوي، ويحمي النباتات من التجمد. ولأنه ليس هناك ابتراد بالحمل، تبقى درجة الحرارة في البيت الزجاجي دافئة. وليس هناك خصائص سحرية للزجاج، فبالإضافة إليه تستعمل الأغطية البلاستيكية الشفافة، والكربونات المتعددة في الدفيئة. ويحرك نمو الزرع أيضاً بضخ CO_2 حتى أن للهواء في الدفيئة ثلاثة أضعاف محتوى الـ CO_2 قياساً بالهواء الخارجي.

إن لسطح الأرض متوسط حرارة سطح يبلغ نحو 15 درجة مئوية. كما إن المناطق الاستوائية أدفأ بنحو 10 درجات. وفي الغلاف الجوي، يكون الـ CO_2 فخاً فعالاً للطاقة في نطاق الطول الموجي للأشعة تحت الحمراء (14 إلى 16.5 ميكروناً). ويخفض حجب الإشعاع الحراري ذي الأطوال الموجية في هذا الأمد الفعالية الإشعاعية للأرض بنسبة 15 في المئة. وإذا لم يكن هناك CO_2 الموجود في الغلاف الجوي، فسوف يفقد المزيد من حرارة الأرض وسيكون متوسط درجة حرارة السطح ـ 3 درجات مئوية تحت الصفر. إن فعالية فخ الـ CO_2 غير حساسة لمقدار الـ CO_2 في الغلاف الجوي. وكل ما يفعله الـ CO_2 هو تبطيء

فقدان الحرارة. ولا يحبس الـ CO_2 الجوي الحرارة في فخ، كما يعمل العزل. وإذا تضاعف محتوى الـ CO_2 الجوي الحالي من 380 ppmv إلى 760 ppmv، فسيكون هناك أثر ضئيل في توازن الإشعاع ودرجة الحرارة. وتكون الزيادة في درجة حرارة الهواء بـ 0.5 درجة مئوية محتملة. وهذا ليس بكارثة.

وإضافةً إلى ذلك، ستحجب آثار الـ CO_2 الإضافي كلياً بمحركات مناخية أخرى مثل الشمس، ومدار الأرض، وستكون هناك فوائد عظيمة مستمدة من نمو الزرع المتسارع. فإذا أراد الإنسان فعلاً أن يغير المناخ قليلاً، فإن خطاب تغير المناخ لا يماثل نظام التدفئة المنزلي حيث يمكن تغيير الثرموستات إلى درجة الحرارة المطلوبة.

لقد حاول تقرير IPCC الأول أن يصوغ المشهد من خلال التقرير أن الأرض تشع 240 واطاً لكل متر مربع من الطاقة إلى الفضاء. وهذا يعادل إصداراً من درجات حرارة سطح الأرض يقابل 19 درجة مئوية تحت الصفر، فيما يكون متوسط درجة حرارة سطح الأرض هو +15 درجة مئوية فوق الصفر[1886]. ثم تقول IPCC: **إن سبب دفء سطح الأرض يعود إلى وجود غازات دفيئة، يمكنها أن تعمل كغطاء جزئي لإشعاع طويل الموجة من سطح الأرض. وعرفت هذه التغطية بأثر الدفيئة الطبيعي.**

إن التفسير خاطئ. وهو يعني أن الغلاف الجوي يحوي طبقات لا تختلط. إضافةً إلى ذلك، لا تعمل غازات الدفيئة كعازل أو كغطاء؛ فالهواء بحد ذاته عازل جيد، وغازاته الرئيسية هي النيتروجين والأكسجين، وهي عوازل ممتازة ضد توصيل الحرارة. غير أن التوصيل ليس عملية من عمليات الغلاف الجوي، وليس هناك أي تأثير للمقادير الضئيلة من CO_2 في الغلاف الجوي، بغضّ النظر عن خصائص العزل في الهواء.

وهنا قدمت IPCC مرة أخرى تفسيراً غير صحيح لأثر الدفيئة.

إن كثيراً من الإشعاع الحراري الذي تصدره اليابسة والمحيط يمتصه الغلاف الجوي، بما في ذلك الغيوم، ويعاد إشعاعه إلى الأرض. وهذا اسمه أثر الدفيئة.

(1886) معادلة لارتفاع 5 كيلومترات.

تقول IPCC إن سطح الأرض يصدر طاقة مقدارها 390 واطاً لكل متر مربع، وإن كمية الطاقة المعاد إشعاعها إلى سطح الأرض هي 324 واطاً لكل متر مربع من الأشعة تحت الحمراء. ولا تفسر IPCC كيف يمكن لفقدان أشعة تحت حمراء بمقدار 66 واطاً لكل متر مربع إلى الغلاف الجوي أن يحدث احتراراً كونياً. فإذا فقد الإشعاع، فلا بد أن يكون هناك ابتراد.

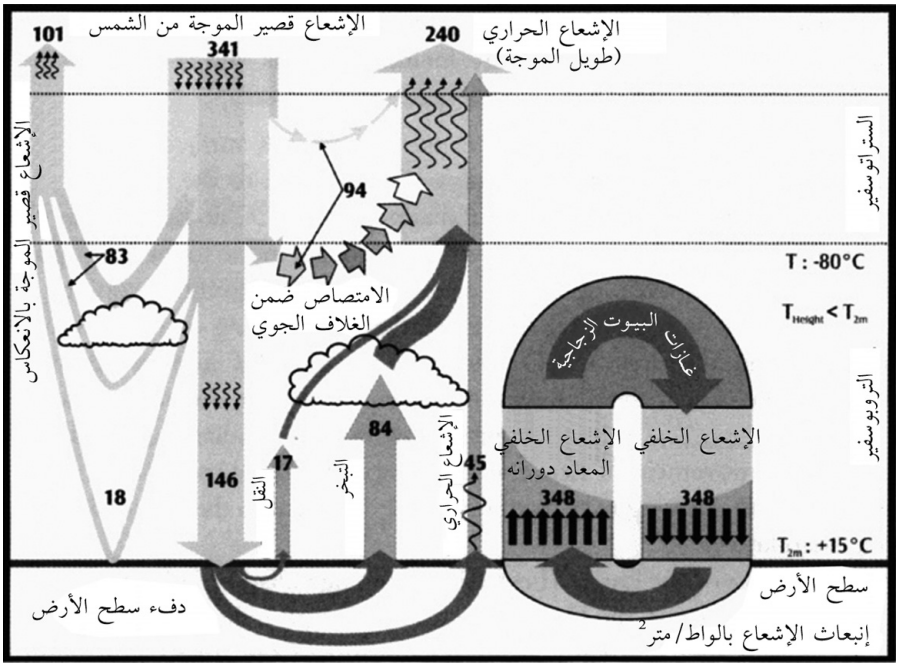
قال سفانت آرهنيوس (Svante Arrhenius) عام 1896، إن حرق الفحم ينتج تزايداً في الـ CO_2 الجوي، وإن امتصاص الـ CO_2 للأشعة تحت الحمراء يمكن أن يدفئ الغلاف الجوي للكوكب. غير أن آرهينيوس لم يكن مدركاً لدورة الكربون في الطبيعة عندما اعتبر إشعاع الأشعة تحت الحمراء فقط، ولم يحتسب لحركة الحرارة والهواء في الغلاف الجوي عن طريق الحمل. إن عملية نقل الحرارة من سطح الأرض إلى الغلاف الجوي معروفة منذ زمن طويل[1887].

يدفأ سطح الأرض بالإشعاع القادم. وإن ما نشعر به نحن البشر على سطح الأرض هو إشعاع ذو موجة قصيرة، وهي الموجة التي لا تمتصها غازات الدفيئة. وبسبب بنية جسيمات بخار الماء، وCO_2 والميثان وغازات أخرى، فإنها تمتص طاقة من موجة محددة أطول. غير أن أطوال الموجات الممتصة تكون في قيود ضيقة جداً فلا يمتص الإشعاع طويل الموجة كله (تحت الحمراء)، ويتطابق طول الموجة هذه تزامناً مع موجات الطاقة المشعة بعيداً عن السطح الحار للأرض. ولا تمتص جسيمات بخار الماء، وCO_2 والميثان هذه الطاقة فقط، ولكنها تعيد إشعاع الكثير منها فترجعه إلى الغلاف الجوي والفضاء. هذا وتشع المناطق البعيدة ومتوسطة البعد عن خط الاستواء مزيداً من الطاقة تحت الحمراء إلى الفضاء من الإشعاع الشمسي الممتص. وللحفاظ على توازن الطاقة، نحتاج إلى نقل الطاقة من المناطق الاستوائية إلى مناطق أبعد عن خط الاستواء.

هناك عمليتان جاريتان. يدفئ الإشعاع الشمسي سطح الأرض، وبشكل رئيسي في المحيطات الاستوائية. ولمّا كان تبخر الماء من سطح المحيطات يتطلب حرارة، فإن سطح المحيطات الدافئة يبخر الماء وينقل بخار الماء هذا

H. Riehl and J. S. Malkus, «On the Heat Balance in the Equatorial Trough Zone,» (1887) *Geophysics*, vol. 6 (1958), pp. 503-538.

(مع حرارته الكامنة) إلى الغلاف الجوي. ثم يبرد سطح المحيط. توجد الحرارة المنقولة من المحيطات إلى الغلاف الجوي الآن في طبقة محاددة للغلاف الجوي. والعملية الثانية هي عندما يصدر إشعاع الأشعة تحت الحمراء إلى الفضاء من غازات الدفيئة في الغلاف الجوي العلوي. وتشع الطاقة من الغلاف الجوي العلوي بمعدل وموجة تتحكم بهما درجة الحرارة. ويؤدي هذا إلى ابتراد الغلاف الجوي العلوي.



الشكل 43: انسياب الموجة الطويلة وإشعاع الموجة القصيرة في سطح الأرض والغلاف الجوي يبين أن الغلاف الجوي متوازن.

إن الطاقة في الغلاف الجوي ليست متوازنة، ولما كان الهواء عازلاً جيداً، فلن توصل الطاقة من خلال الغلاف الجوي. والطريقة الوحيدة للحفاظ على توازن الطاقة بين الغلاف الجوي السفلي والعلوي هي النقل بالحمل (Convection). غير أن للغلاف الجوي عدة طبقات، وتنخفض درجة الحرارة مع الارتفاع[1888]، ويجب لمعدل انخفاض درجة الحرارة أن يكون كافياً ليسمح

(1888) 6.5 درجة مئوية للكيلومتر.

بارتفاع طبقات الهواء. وترتفع طبقات الهواء المحاددة تسامقاً في الغيوم الناقلة الاستوائية. ويحول هذا الحرارة والحرارة الكامنة إلى طاقة كامنة. وتُمزَج الحركات الاضطرابية للغلاف الجوي الطاقة نزولاً بعيداً عن التيارات الهوائية الصاعدة، وتحول الطاقة الكامنة إلى حرارة. وتوزع هذه العملية الحرارة والحرارة الكامنة من المناطق الاستوائية فوق الغلاف الجوي السفلي.

عندما تمتص جسيمات غازات الدفيئة (على سبيل المثال، H_2O, CO_2) الأشعة تحت الحمراء، تتحول طاقتها إلى اتساع حراري للهواء. ويسبب هذا نقلاً للهواء الأدفأ الأخف المتسع وإعادة التوزيع الناتج للهواء والطاقة. وتتحول معظم الحرارة في الغلاف الجوي السفلي الأكثف بالنقل (67 في المئة) وليس بالإشعاع (8 في المئة فقط) مع تكثيف للماء معطياً الباقي (25 في المئة). عندما يسخن الهواء، يتمدد، ويصبح أخف ويرتفع، وينخفض الهواء الأبرد الأكثر كثافة من الطبقات العليا للغلاف الجوي السفلي، ويبدل الهواء الأدفأ من الطبقات الأكثر انخفاضاً. ويعمل هذا النظام من الخلايا المتعددة على نقل الهواء مثل مُبرِد السطح المستمر، ويتجاوز أثر الابتراد بكثرة أثر الاحترار من الإشعاع[1889]. هنا تُصوِّر النماذج المستعملة من قبل IPCC على نحو أضعف تزايد الابتراد التبخري مع درجة الحرارة[1890].

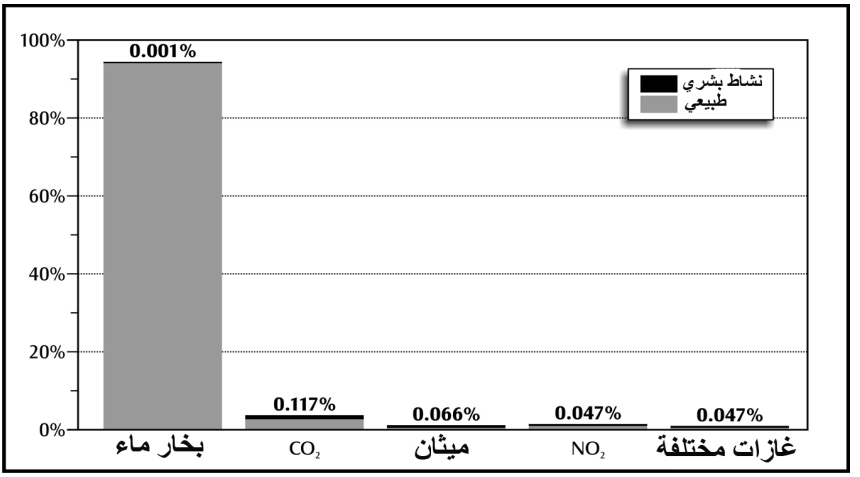
إن نظام المناخ يتوازن عندما تمتص الأشعة الشمسية بكاملها كأشعة تحت حمراء من قبل الفضاء وينتقل معدل الحرارة وتوزيع الطاقة الكامنة بطريقة الحمل (Conviction) بفقدان الإشعاع الكلي. يسمى هذا التوزان بأثر الدفيئة عندما يكون متوسط درجة حرارة الغلاف الجوي (+15 درجة مئوية) أكثر من حرارة إشعاع سطح الأرض (19 درجة مئوية). إن دور غازات الدفيئة هو بتبريد الغلاف الجوي من خلال بث إشعاع الطاقة إلى الفضاء[1891]. ولا يمكن للغازات السائدة في الغلاف الجوي مثل النيتروجين والأكسجين أن تقوم بهذا العمل. ويمكن للغاز السائد التالي، بخار الماء، أن يقوم بذلك. في الحقيقة،

(1889) Hadley Cells

(1890) I. M. Held and B. J. Sodon, «Robust Responses of the Hydrological Cycle to Global Warming,» *Energy and Environment*, vol. 18 (2006), pp. 951-983.

(1891) G. V. Chilingar, L. F. Khilyuk and O. G.Sorokhtin, «Cooling of Atmosphere Due to CO_2 Emission,» *Energy Sources*, vol. 30 (2008), pp. 1-9.

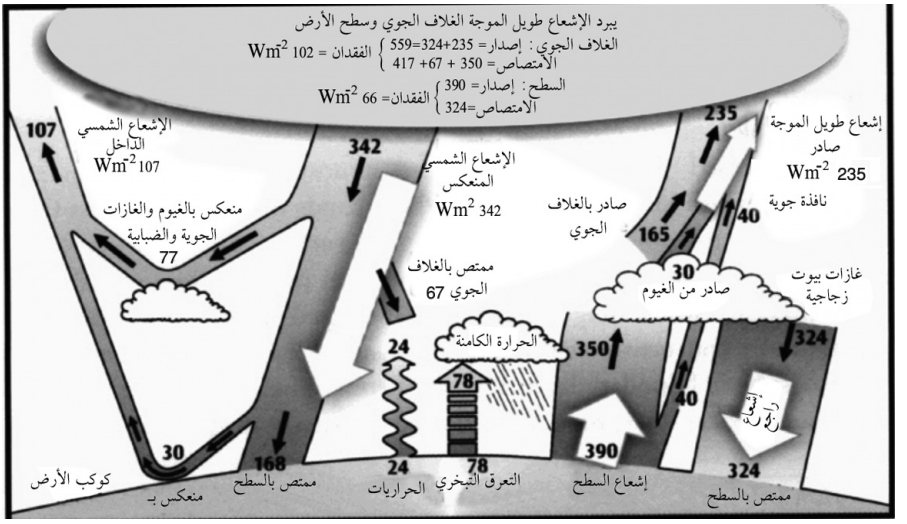
إن الماء هو غاز الدفيئة الرئيسي، وإن أكثر من 98 في المئة من أثر غازات الدفيئة الجوية سببها بخار الماء من ناحية أخرى. لا يمكن للغاز الجوي السائد التالي، الأرغون، أن يفعل ذلك، فيما يمكن لآثار CO_2 والميثان في الجو فعل ذلك. وهذا الإشعاع، مجتمعاً مع احترار السطح الشمسي، يولّد عدم استقرار في نقل وتحويل كميات كبيرة من الطاقة، وبخاصة في المناطق الاستوائية، من السطح إلى الغلاف الجوي العلوي والمناطق القطبية. إن مجموع الفقدان الإشعاعي من الغلاف الجوي أكثر من 107 واط للمتر المربع والقوة الإشعاعية من مضاعفة CO_2 الجوي الحالي هي فقط 4 واط لكل متر مربع. تبعث غازات الدفيئة في الغلاف الجوي والغيوم أشعة تحت حمراء بسبب درجات حرارتهم، ولأن طبيعة الإشعاع الخاص المنبعث هو إشعاع طويل الموجة (14-16.5μ)، فما لم تضف طاقة إلى الغلاف الجوي، فإن غازات الدفيئة والغيوم ستستمر بإصدار طاقة حتى نفاد الطاقة تماماً. عندئذٍ، سيتجمد الكوكب ويصبح عقيماً. حمداً لله على غازات الدفيئة (غازات البيت الزجاجي).



الشكل 44: غازات بيوت زجاجية جوية (دفيئة) تظهر نسبة غازات الدفيئة المستمدة من نشاطات طبيعية وبشرية. وإن نحو 98 في المئة من أثر الدفيئة في الغلاف الجوي سببه بخار الماء والقليل من تركيز أثري لـ CO_2 مصدره النشاط البشري.

إن تزايد محتوى CO_2 في الغلاف الجوي يخفض انبعاث الأشعة تحت الحمراء نحو الفضاء الخارجي ضمن نطاقات الأشعة تحت الحمراء التي يمتصها الـ CO_2، كما يزيد CO_2 المتزايد الإشعاع النازل إلى السطح. وهذه آثار متضادة

وتميل نحو إلغاء بعضها البعض. واستجابة للتغيرات في فقدان الإشعاع الكلي يتغير دوران الحمل، ويحفز الإشعاع المتزايد نحو الفضاء مزيداً من إسقاط الحمل (Convictive Overturning)، وتوزيع مزيد من الطاقة من طبقة حد الغلاف الجوي. ويجفف إسقاط الحمل المتزايد الغلاف الجوي السفلي، ويزيد انبعاثات الأشعة تحت الحمراء إلى الفضاء من نطاقات بخار الماء، ويعوض هذا عن تخفيض إصدار نطاقات CO_2.



الشكل 45: إضافات وفقد الإشعاع طويل الموجة نحو الأرض مبيّناً دور الغيوم والحرارة الكامنة.

إن التزايد في تركيز CO_2 الجوي يزيد الإشعاع الراجع الذي يُمتص عند سطح الأرض، وهذا يغير توازن الطاقة. وسوف يدفئ التزايد في الإشعاع الراجع إلى السطح درجة حرارة سطح الأرض، مما يزيد من معدل فقدان الطاقة من خلال التبادل الحراري مع الطبقة المحاددة العليا. وكذلك من تبخر الطاقة الكامنة، وإصدار الإشعاع. ويمكن لكيلوغرام من الهواء عند درجة حرارة 15 تحت الصفر أن يحمل 40 غراماً من الماء كبخار، بينما يمكن لكيلوغرام من الهواء عند درجة حرارة 35 أن يحمل 40 غراماً من الماء كبخار. والذي لا نعرفه هو إذا كان بخار الماء الإضافي في الهواء الدافئ يبقى هناك لزيادة احترار CO_2 أم أنه يعود إلى الأرض بسرعة. ومهما يحدث، فإن بخار الماء يعمل كغاز دفيئة، ويتضمن تبخر الماء وتكثفه نقلاً لكميات كبيرة من الطاقة.

سيكون هناك توازن طاقة جديد إذا تعادل فقدان الطاقة المتزايد مع قوة CO_2 للإشعاع الراجع. وإذا تضاعف محتوى CO_2 الحالي، تستجيب درجة حرارة السطح بارتفاع مقداره 0.3 درجة مئوية. غير أنه هناك تضخيم بسبب التغذية الراجعة من بخار الماء، فسيكون ارتفاع درجة الحرارة في حدود 0.5 درجة مئوية. هذا وستزيد درجة حرارة السطح الأدفأ انبعاث الأشعة تحت الحمراء إلى الفضاء، وذلك للتعويض عن التخفيض في نطاقات CO_2. وسوف تحفز درجة الحرارة الدافئة إسقاط الحمل، مما ينتج إشعاعاً متزايداً نحو الفضاء في نطاقات بخار الماء. وسوف يخمد هذا الإشعاع من الفضاء إلى نطاقات بخار الماء آثار CO_2 المتزايد، وتقييد درجة حرارة السطح بالتبخر المتزايد للطاقة الكامنة على السطح.

عندما كان تركيز CO_2 الجوي يزيد على ما هو اليوم بـ 25 ضعفاً، لم يكن هناك أثر لظاهرة البيت الزجاجي أو «نقاط الانقلاب»، فإذا لم تكن هناك مياه على سطح لأرض، إذن لما ظهر أثر للبيت الزجاجي منذ مليارات السنين.

اشتملت نماذج غازات الدفيئة للـ IPCC على احترار لـ «التروبوسفير» وتغيرات في دورة «الستراتوسفير» كنتيجة لإضافات البشر لغازات دفيئة إلى الغلاف الجوي[1892]. وإن الطريقة الجيدة لقياس مقدار الدوران هي من قياس عمر هواء الستراتوسفير[1893][1894]، لأن العمر يتناقص مع المستويات المرتفعة لغازات الدفيئة في الغلاف الجوي[1895]. وتبيّن قياسات البالونات (المثانات) خلال السنوات الثلاثين الماضية أن هواء الستراتوسفير غير متغير[1896].

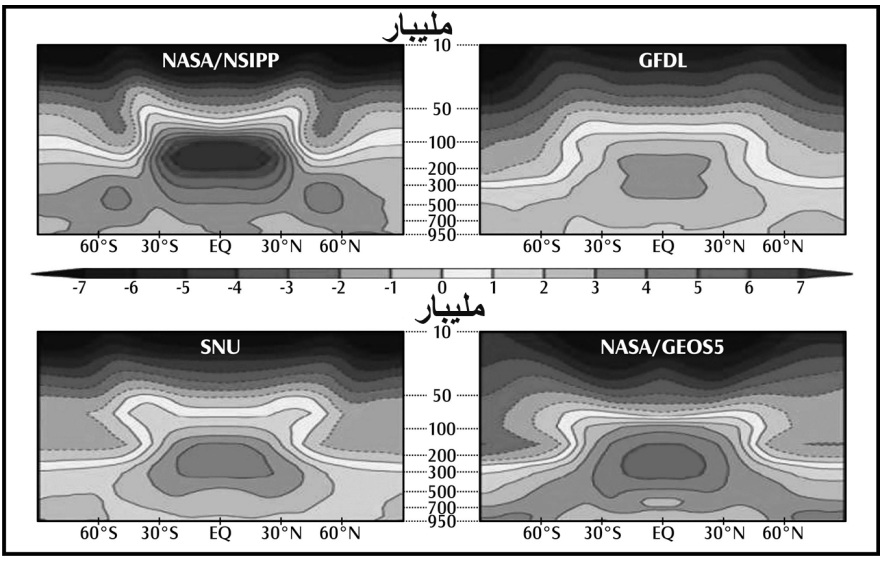
(1892) S. Solomon [et al.] eds., «Climate Change 2007,» in: *The Physical Science Basis- Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2007).

(1893) S. Li and D. W. Waugh, «Sensitivity of Mean Age and Long-Lived Tracers to Transport Parameters in a Two-Dimensional Model,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 104 (1999), pp. 30559-30569.

(1894) D. W. Waugh and T. M.Hall, «Age of Stratospheric Air: Theory, Observations and Models,» *Reviews in Geophysics,* vol. 40 (2002), pp. 1-10.

(1895) J. Austin and F. Li, «On the Relationship between the Strength of the Brewer-Dobson Circulation and the Age of Stratospheric Air,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), L17807.

(1896) A. Engel [et al.], «Age of Stratospheric Air Unchanged within Uncertainties Over the Past 30 Years,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 28-31.

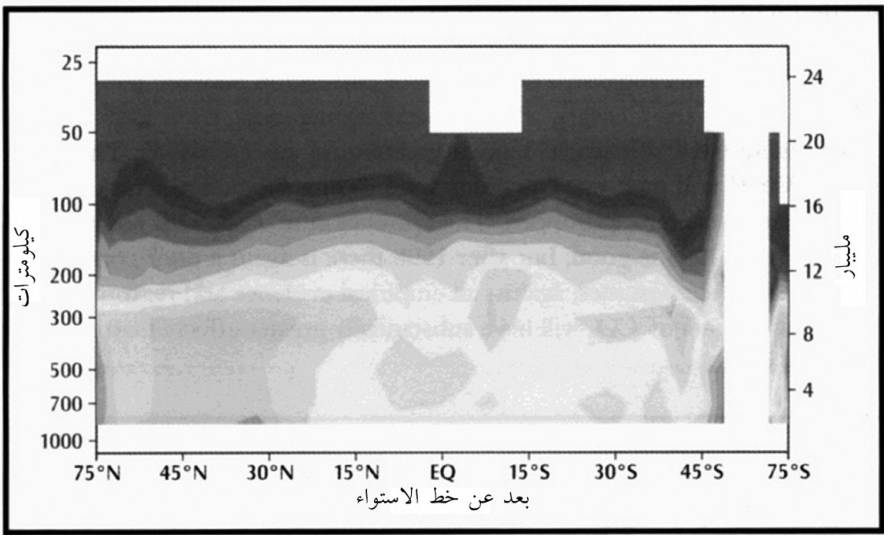


الشكل 46: أربع توقعات للكمبيوتر تستعملها IPCC لآثار الاحترار الكوني بمضاعفة CO_2 الجوي كدالة لخط الاستواء والضغط في الستراتوسفير العلوي ـ التروبوسفير السفلي. جميع النماذج توقعت احتراراً استوائياً جوياً (ظاهر مع درجات أدكن متزايدة)[1897].

إن الأثر الأعظم للـ CO_2 يقع في الـ 100 ppmv الأولى في الغلاف الجوي. وبعد هذا التركيز، يكون مصدر الأشعة تحت الحمراء المنبعثة إلى الفضاء من نطاقات إشعاع CO_2 النشيطة في الستراتوسفير. هناك أسباب للشك في أن الأرض قريبة من حد أعلى درجة حرارية يعطيها التوزع الحاضر لليابسة والمحيط وقوة الإشعاع الشمسي.

ويسخن سطح الأرض بالإشعاع الشمسي والأشعة تحت الحمراء الراجع المنطلق من الغيوم، وغازات الدفيئة، والدخان، والتربة، والنباتات والصخور. ويبرد سطح الأرض بالتوصيل، والتبخر وانبعاثات الأشعة تحت الحمراء. وإن الإشعاع الشمسي والتوصيل ثابتان تقريباً، وستتغير حرارة سطح الأرض حسب تغير الأشعة تحت الحمراء الراجعة المتزايدة (قوة الإشعاع من بخار الماء وCO_2) موضوعة بإصدار الأشعة تحت الحمراء السطحية والحرارة الكامنة للتبخر.

M. I. Lee [et al.], «A Moist Benchmark Calculation for Atmospheric General Circulation (1897) Models,» *Journal of Climate,* vol. 21 (2008), pp. 4934-4954.



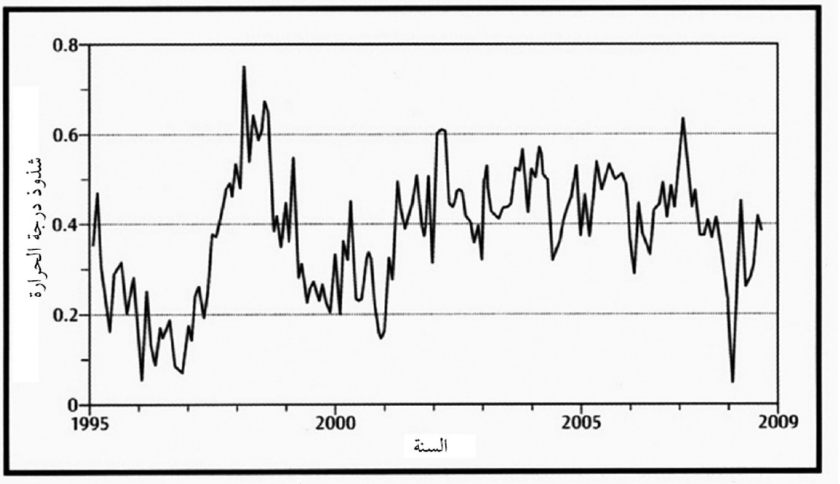
الشكل 47: قياسات حقيقية لدرجة الحرارة في التروبوسفير ـ العلوي ـ الستراتوسفير السفلي من قياسات بالون مسبار لاسلكي. لا يمكن إثبات أي توقعات احترارية في الشكل 46، غير أن هذه التوقعات لا تزال تستعملها IPCC[1898].

إن معدل التزايد في إصدار الأسطح للأشعة تحت الحمراء مع حرارة تبلغ حوالى 5 واط لكل متر مربع لكل درجة مئوية، وإن حجم معدل تزايد الطاقة الكامنة من التبخر مشابه، ضمن متوسط درجة حرارة سطح عالمية بنحو 15 درجة مئوية. ويعني هذا أن الأشعة تحت الحمراء الراجعة من مضاعفة تركيز CO_2 يجب أن تكون واطاً واحداً لكل متر مربع، وذلك للحفاظ على ارتفاع مقداره درجة مئوية واحدة. وأكثر من 30 واطاً لكل متر مربع للحفاظ على ارتفاع مقداره ثلاث درجات مئوية. وباستعمال أدق حسابات الإشعاع خطاً بخط، تنتج الزيادة في الأشعة تحت الحمراء الراجعة بسبب مضاعفة CO_2، وازدياد درجة حرارة الغلاف الجوي ثلاث درجات، وحمل ثابت من الرطوبة النسبية (التغذية الراجعة الإيجابية الكاملة تقدر بثلاث درجات) فقط تزايداً في الأشعة تحت الحمراء الراجعة و18 واطاً للمتر المربع، أقل من 30 واطاً للمتر المربع الأساسي للحفاظ على زيادة مقدارها ثلاث درجات مئوية ضمن توازن درجة حرارة السطح. إن إصدار الأشعة تحت الحمراء المتزايد بسرعة من

(1898) ملاحظات HadAT2 radiosonde، CCSP (2006)، ص 116 (الشكل 5.7 E).

السطح وفقدان الحرارة الكامنة يشكل عائقاً أمام الزيادة المعنوية في درجة حرارة السطح ما لم يكن هناك تغير في دخل الإشعاع الشمسي، إما مباشرةً أو من خلال التغير في التغيم والجليد.

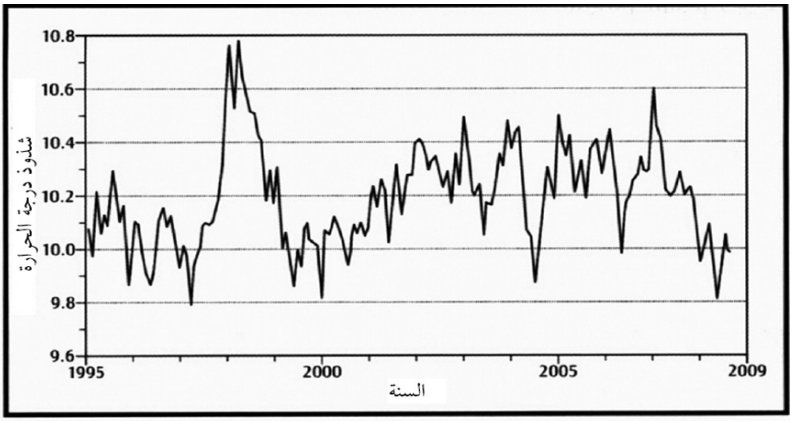
استعملت ظاهرة مضاعفة CO_2 في مجلة شتيرن ريفيو كمعيار لحساسية المناخ. وهذا يمثل إقحاماً لنحو 3.7 واط لكل متر مربع. ولما كانت طاقة غازات الدفيئة التي يسببها الإنسان قد قدرت بنحو 2.7 واط لكل متر مربع، فإننا نكون قد قطعنا ثلاثة أرباع الطريق نحو مضاعفة فعّالة للـ CO_2. غير أننا خبرنا احتراراً أقل من هذه قوة. وهناك ترابط ضعيف بين الحرارة والـ CO_2 في القرن العشرين، مع حرارة متزايدة من 1905 إلى 1918 قبل أن تكون هناك انبعاثات غاز بيوت زجاجية أساسية. وكانت انبعاثات الحرب العالمية الثانية السريعة وانبعاثات ما بعد الحرب بين عام 1940 وعام 1976 عندما انخفضت الحرارة. إن علاقة CO_2 مع درجة الحرارة من 1976 إلى 1998 جيدة، غير أن هناك علاقة ضعيفة مرة أخرى بعد عام 1998. وتفترض مجلة شتيرن ريفيو، على عكس كافة الدلائل الكلاسيكية والتفسيرات، أن زيادات مقبلة للـ CO_2 سيكون لها آثار أعظم من الآثار الماضية.



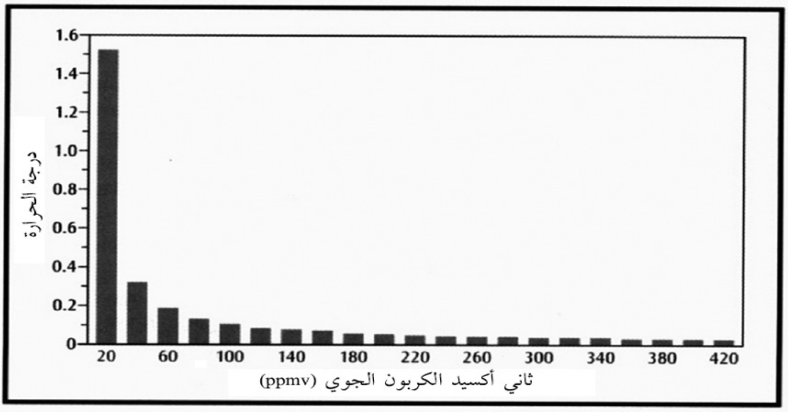
الشكل 48: متوسط درجة حرارة السطح العالمية مبينةً تناقصاً في حرارة سطح الأرض من ذروة خلال حدث «إل نينو» 1998. ويُرى اتجاه مشابه في «التروبوسفير» السفلي.

يعمل ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مثل ستارة على نافذة. فإذا أردت إبقاء الضوء خارجاً، أضف ستارة. والستارة الثانية تعمل فارقاً ضئيلاً،

وأثر الثالثة أقل وأقل، والستارة الرابعة لا أثر لها. ويعمل CO_2 بنفس الطريقة. فمبجرد ما يكون هناك 400 ppmv من CO_2 في الغلاف الجوي، فإن لمضاعفة محتوى CO_2 أو ثلاثة أضعافه أثراً ضئيلاً في درجة الحرارة الجوية، لأن CO_2 يكون قد امتص جميع الطاقة تحت الحمراء التي يمكنه امتصاصها.



الشكل 49: متوسط درجات حرارة التروبوسفير عالمياً تبين تناقصاً في درجة الحرارة من الذروة خلال حدث إل نينو 1998. ويُرى اتجاه مشابه في درجة حرارة السطح.



الشكل 50: الـ20 ppmv الأولى من ثاني أكسيد الكربون التي تعمل كغاز دفيئة في الغلاف الجوي لها الأثر الأعظم في درجة الحرارة. وبعد حوالى 200ppmv، فعل ثاني أكسيد الكربون كغاز دفيئة وامتص تقريباً جميع الطاقة تحت الحمراء التي يمكنه امتصاصها. وبمجرد ما يصبح الغلاف الجوي عند محتواه الحالي من ثاني أكسيد الكربون الذي يعادل 385ppmv، فإن ضعف أو أربعة أضعاف محتوى ثاني أكسيد الكربون الجوي سيكون له أثر ضئيل جداً في درجة حرارة الجو. ولهذا فإنه عندما كان محتوى ثاني أكسيد الكربون الجوي أكثر من الحالي بـ 25 مرة في الأزمنة السابقة، لم تكن هناك ظاهرة البيت الزجاجي أو «نقطة ذروة».

قياس درجة الحرارة

القياس ومرتبة الدقة

يقتضي جمع البيانات في العلوم «الملاحظة»، والقياس والتجربة. وعلينا أن نتأكد أن هذه البيانات يمكن تحقيقها بالتكرار، ونحتاج إلى أن نفهم أن لكل قياس نظام دقة. فعلى سبيل المثال، إن مسافة سباق الماراثون 42.195 كيلومتراً، غير أنه، بسبب عدم الدقة، والأخطاء، والأجهزة المستعملة للقياس، يكون هذا الرقم حقيقةً 0.002 ± 42.195 كيلومتراً، وهذا يعني أن طول مسار الماراثون يقع بين 42.193 و42.197 كيلومتراً. وكذلك هو الحال مع قياسات درجة الحرارة. فإننا نقرأ أن الأرض قد احترت بـ 0.7 درجة مئوية خلال القرن العشرين. وهذا ليس قياساً علمياً إذ لا يوجد نظام يحدد هذا بدقة. وإذا كان نظام الدقة كبيراً، فإن الرقم قليل الأهمية. فإذا احترت الأرض بـ0.8 ± 0.7 درجة مئوية فإن هذا الرقم قليل الأهمية، وإذا كان 0.4 ± 0.7 درجة مئوية يكون للرقم أهمية علمية. وإذا ذكر رقم لدرجة الحرارة العالمية، فإن الأسئلة العلمية الطبيعية هي: ماذا كانت تقنية القياس؟ وما هي حدود تقنية القياس؟ وما هو نظام دقة هذه التقنية؟ وكيف تم تحليل البيانات؟ هذا هو العمل الطبيعي للعلوم.

يجدر بنا أن نمعن النظر في كيفية قياس درجة الحرارة، وعدم دقة القياس ونظام دقة القياس. وحتى حديثاً، كانت درجة حرارة السطح تقاس باستعمال «ثرمومتر» فقط. كما إن مجموعة البيانات التاريخية هذه هي التي استعملت لتبيان تغير درجة الحرارة الكونية. إن هذه القياسات محدودة إذ لم تتم معايرة (Calibration) جميع الثرمومترات على ثرمومتر معياري واحد، لذلك، فإن ما يسجله ثرمومتر معين بـ31 درجة مئوية، قد يسجله ثرمومتر آخر بـ 33 درجة عندما تكون درجة الحرارة فعلاً 32 درجة مئوية. وإذا تمّت معايرة الثرمومتر عند درجة 15، فإن درجات الحرارة الأعلى والأدنى تكون عرضة للأخطاء.

إضافةً إلى ذلك، إن معظم الثرمومترات مقسمة إلى الدرجة الأقرب، وبالتالي فإن ملاحظاً واحداً قد يسجل درجة الحرارة عند 31 درجة، وآخر قد يسجلها 32 درجة مئوية. وكلتا الدرجتين صحيح، لأنه إذا قسم ثرمومتر إلى أقرب درجة، فإن أيّ قياس سيكون 0.5 ± درجة مئوية. وبالتالي، فإذا كانت معظم البيانات التي استعملت لتؤسس إلى أن درجة الحرارة العالمية تغيرت

بـ 0.7 درجة مئوية خلال القرن العشرين مستمدة من ثرمومترات متعددة، فإن هذا الرقم حقيقةً هو 0.5 ± 0.7 درجة مئوية. وبالفعل، إن دقة قياسات درجة الحرارة التاريخية قريبة من النظام الآلي للدقة ويجب التعامل معها بحذر. وهناك أخطاء أخرى كثيرة قد تتسلل إلى القياس.

كانت قياسات درجة الحرارة في القرن العشرين تجري باستعمال شاشة ستيفنسون (Stevenson Screen). وهي صندوق خشبي يوضع في الخارج ويثبت على طُوالات (Stilts). ويوجد في الصندوق ثرمومترات. ويجب أن تكون شاشة ستيفنسون بعيدة عن الانعكاس الخلفي (جدران، أو قرميد، أو أسمنت، أو صخور، أوتربة) ضمن ارتفاع مثبت وموضوعة في الأعلى ومحاطة بزرع محصود. إن بعض محطات الطقس المستخدمة اليوم تقع في قمة مباني الأسمنت، ملاصقة لمبانٍ، قريباً من شارع أو من مرآب سيارات. ويمكن لدرجة الحرارة المقاسة على متر واحد فوق سطح الأرض أن تكون مختلفة بأكثر من درجة مئوية واحدة عن درجة حرارة عند علو مترين فوق سطح الأرض. ولا تقيس جميع شاشات «ستيفنسون» درجة الحرارة ضمن الارتفاع نفسه فوق سطح الأرض.

إن الصفات المهمة لشاشة ستيفنسون هي أنها بحجم الصندوق وبكثافة الشرائح الخشبية. وإن هدف شاشة ستيفنسون هو حجب ضوء الشمس المباشر الذي يضرب الأجهزة، وأن تكون درجة الحرارة داخل الصندوق قريبة قدر الإمكان لتلك التي في مجرى الهواء. إن أتمتة (Automation) محطات الطقس باستعمال طرق مختلفة لقياس درجة الحرارة نتج منها تغير في حجم شاشة ستيفنسون وموادها. وبدلت الثرمومترات بطيئة الاستجابة بأجهزة قياس إلكترونية ذات حساسية أعلى. وبدلت صناديق شاشة ستيفنسون الخشبية الكبيرة بصناديق أصغر مهوّاة ومصنوعة من البلاستيك. وفي مناخات حارة، هناك حرارة مرتفعة أكثر لسطح البلاستيك الخارجي وتوصيل للحرارة حتى السطح الداخلي. وإن القدرة على إعطاء درجة حرارة معززة في أيام حارة بدون رياح أعظم بكثير في الشاشات البلاستيكية الأحدث من الشاشات الخشبية الأكبر والأقدم.

يمكن القول إنه من غرور الإنسان أن يتخيل أن للنسبة المئوية القليلة المسكونة لسطح الأرض القدرة على أن تبدل مناخ الكوكب كله، فإن 98.6 في المئة من سطح الكوكب غير مسكون. وهناك محطات قياس كثيرة لها انعكاسات راجعة كبيرة. وإن الحشيش المقصوص ليس موجوداً في أجزاء كثيرة من العالم،

والدهان المبيض عاكس للأشعة تحت الحمراء. وقد وجد أن معظم محطات المناخ في شرق كولورادو (Colorado) لم تستوف متطلبات جمعية الأرصاد الجوية العالمية للموقع الصحيح[1899]. كما وجد أن هذا أمر شائع في الولايات المتحدة الأميركية[1900]. وقد ظهر الآن أن موقع نحو نصف محطات قياس الطقس الأميركية غير صحيح، ولا تستوفي شروط الحكومة الأميركية، وتقدم انحيازاً في قياسات الاحترار[1901].

إن محطات الطقس على اليابسة (29 في المئة من مساحة الأرض)، منتشرة في مجموعة من بلدان صناعية. وليس هناك شاشات ستيفنسون على سطح المحيطات، وبالتالي ليس هناك قياسات شاشة ستيفنسون لدرجات حرارة عالمية لـ 71 في المئة من سطح الأرض. إضافةً إلى ذلك، إن 3 في المئة من سطح الأرض مغطى بالجليد، وإن أقل من 2 في المئة من الـ 26 في المئة المتبقى مسكون إذا أبعدنا المستنقعات، والصحارى والجبال. ويعيش البشر على 1.4 في المئة فقط من سطح الأرض، وهذا لا يمثل سطح الكوكب. وتجتمع عواصم دول الأرض الحاضرة على مساحة تقل عن مساحة إسبانيا.

إن جلّ ما علينا فعله لنفهم قياسات درجة الحرارة التاريخية هو القيام بقياسات ثرمومتر يجريها أولئك الذين رحلوا. وإن لهذه النتائج شيئاً من انحياز، إذ لم تُعيَّر الأجهزة مع أجهزة أخرى قياسية، وإن لمحطات مختلفة أنظمة دقة مختلفة، وقد تكون للنتائج أخطاء نظامية، وقد تكون شاشة ستيفنسون قد وضعت بشكل خاطئ، أو تمّت القياسات من على مرتفعات مختلفة فوق سطح الأرض، وربما أزيلت محطة القياس عدة مرات، وربما تجاوزت الصناعة والتمدن ما كان أصلاً محطة قياس في موضع ريفي ثابت. لقد استعملت درجة الحرارة العالمية من قياسات الثرمومتر منذ عام 1860 لتحديد اتجاهات درجة الحرارة الحديثة. وتستعمل بعض الثرمومترات الزئبق، وغيرها يستعمل الكحول

(1899) R. A. Snr Peilke [et al.], «Unresolved Issues with the Assessment of Multi-Decadal Global Land Surface Temperature Trends,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), D24508, doi: 10.1029/2006JD008229.

(1900) R. A. Snr Peilke [et al.], «Documentation of Uncertainties and Biases Associated with Surface Temperature Measurement Sites for Climate Change Assessment,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 88 (2007), pp. 913-928.

(1901) <http://surfacestations.org>.

الملون. وقد انتقلت محطات أكثر حداثةً إلى استعمال مقرنات حرارية (Thermocouples). وأحدث التغير نحو ثرمومتر ـ هيغرو - (HO-83 Hygro Thermometer) انقطاعاً مقداره 0.5 درجة مئوية ولم تعدل السجلات[1902][1903].

أمكن استعمال عدة تفويضات قبل 1860. غير أن اعتماد التفويضات ومعايرة قياسات درجة الحرارة مع قياسات الثرمومتر لا يعتمد عليها البتة. ولدينا 150 عاماً فقط من قياسات ثرمومتر غير دقيقة ومتفرقة تصاغ منها توقعات عن تغيرات مناخ تمتد لمئات السنين. وهناك قياسات لـ 30 عاماً بالأقمار الاصطناعية وبعضها من قياسات بالون المسبار اللاسلكي. وتغطي قياسات الأقمار الاصطناعية العالم كله، وليس هناك تركيز على القياس في البلدان الغربية الصناعية والمحيطات التي يجب أن تغطى بتساوٍ، كما هو حال اليابسة والمناطق الأخرى في العالم. إن هذه القياسات يعتمد عليها اعتماداً أكثر من قياسات الثرمومترات. وتعطي بالونات المسبار اللاسلكي صورة ثلاثية الأبعاد عن درجة الحرارة.

تُظهر محطات الطقس انحيازاً. وسبب ذلك هو إقامة محطات الطقس الأبعد في مناطق مكتظة بالسكان في البلدان المتقدمة وليس في بلدان العالم الثالث، وقد أهملت منطقة التوندرا في القطب الشمالي (Arctic Tundra)، وفي الصحارى، وفي القطب الجنوبي والمحيطات. وكانت هناك تغيرات كثيرة في عدد محطات الطقس التي تستعمل لتجميع متوسط درجة حرارة السطح، وقد بلغ عدد المحطات 1500 محطة في عام 1900، وفي عام 1980 أُصبح عددها 6000 محطة. وبلغت 2700 محطة في عام 1998. ويبلغ عددها الآن نحو 2000 محطة. ومعظم المحطات التي اختفت كانت محطات ريفية، وبخاصة في الاتحاد السوفياتي السابق. وكان أكبر إغلاق لمحطات القياس نحو عام 1990، وتظهر بيانات الولايات المتحدة الأميركية تزايداً مفاجئاً في درجة الحرارة في ذلك الوقت[1904]. وكانت نسبة كبيرة من المحطات بعد عام 1990 في مناطق مدينية. وكانت متوسطات درجة حرارة السطح مأخوذة من صناديق مشبكة من المربعات، عرضها 5 درجات، وطولها 5 درجات عند خريطة إسقاط مركاتور

(1902) T. R. Karl, H. F. Diaz and G. Kukla, «Urbanization: Its Detection and Effect in the United States Climate Record,» *Journal of Climate*, vol. 1 (1988), pp. 1099-1123.

(1903) T. R. Karl [et al.], «Critical Issues for Long-Term Climate Monitoring,» *Climate Change*, vol. 31 (1995), pp. 185-221.

(1904) بيانات GHCN2.

(Mercator Projection). ومن 2592 صندوقاً مشبكاً، كان 300 منها متوفراً عام 1900 و850 عام 1980؛ ويعني هذا أن قياسات درجة الحرارة التاريخية بالثرمومتر لم تغط بالتساوي الكرة الأرضية، ولم تكن هناك بيانات درجة حرارة في صندوق مشبك لمعظم الأماكن على الأرض.

هناك كثافة كبيرة من هذه الصناديق في الولايات المتحدة الأميركية وأوروبا الغربية، ومساحات كبيرة من أفريقيا وأميركا الجنوبية والشرق الأوسط والهند وغرينلاند وسيبيريا والقطب الجنوبي. وهناك قليل من محطات القياس في المحيطات. ويوجد مزيد من هذه الصناديق في بلدان غربية مكتظة بالسكان أكثر من أماكن أخرى. هذا الانحياز متفاقم لأن محطات طقس كثيرة كانت من قبل في مناطق ريفية أصبحت الآن في مناطق مدينية. يُحدث الانعكاس الراجع من المباني والطرق والأرصفة ارتفاعاً في درجة الحرارة، كما تفعل الحرارة المحلية، والمصانع والالآت وخطوط الكهرباء ومراكز التسوق. ويسمى هذا أثر الجزيرة الحراري المديني. وعندما يذكر متوسط درجة الحرارة العالمية، فماذا يعني ذلك؟

يحدث الانحياز الإنساني في جميع القياسات. وهناك شاشة «ستيفنسون» في أحر مدينة في جنوب أستراليا مقابل سياج حديدي خاضع لفعل تيار كهربائي، طوله متران، فوق التربة الصافية. إن الانعكاس الراجع للإشعاع كبير والقياسات منحازة نحو الأعلى. ولا عجب أن القياسات تبيّن أن ماري (Marree) حارة. كان لي صديق رجل شرطة في صحراء هاملت في مارلا (Desert Hamlet of Marla) في شمال جنوب أستراليا. وكانت إحدى مهماته قياس درجات الحرارة اليومية، أولها كانت عند الساعة الثالثة صباحاً. تمّت معايرة شاشة ستيفنسون للمدى المتوسط، غير أن درجة حرارة الصيف كانت أعلى بكثير من درجة حرارة المعايرة، ولم يتلق الشرطي الذي يقرأ أجهزة شاشة «ستيفنسون» أي تدريب من كتب الأرصاد الجوية. في تلك الأزمنة عندما أدى الالتقاء الليلي مع باخوس إلى ارتفاع متأخر، قدرت درجة حرارة الساعة الثالثة وحرارة الصباح بعد بضع ساعات. وفي سيبيريا، قدم الاتحاد السوفياتي وقود ديزل وإعانة من المشروبات المدفئة عندما كانت درجة الحرارة تقل عن 15 درجة مئوية تحت الصفر. وإني على يقين من أن درجة الحرارة عندما تكون 13 تحت الصفر فإن تعطش أولئك الملاحظين للمشروبات المدفئة تستطيع أن تسوي قياس الحرارة بانزلاق متعمد لأقلامهم. وبعد انهيار الاتحاد السوفياتي،

أغلقت الفيدرالية الروسية محطات القياس الريفية المعزولة، وسحبت الإعانة عنهم، وكان هناك حدث احترار ظاهر في سيبيريا. وكان لمحطات قياس طقس كثيرة في الاتحاد السوفياتي السابق وروسيا شهور كثيرة من البيانات المفقودة بين عام 1971 وعام 2001[1905] ومع ذلك فقد شكّلت هذه البيانات جزءاً من البيانات العالمية المستعملة لحساب IPCC وتغير درجة الحرارة. وتُقدَّر البيانات الناقصة في حالات كثيرة باستعمال معلومات من محطات قريبة. وهذا غير مقبول. وفي مناطق أخرى تَبعد فيها المحطات عن بعضها البعض مئات الكيلومترات، وينقصها شهور من البيانات. وهناك برنامج كمبيوتر يُعرف بـ «فلنت» (Filnet)[1906] مصمم لتقدير القيم الناقصة[1907].

قد يبدو ذلك كله نقداً مبالغاً فيه. ولكن هذه هي الطريقة التي تُقيَّم بها البيانات العلمية. وإذا كانت هناك ادعاءات بأن درجة الحرارة العالمية ارتفعت 0.7 درجة مئوية خلال القرن الماضي، فإننا نحتاج إلى معرفة ما إذا كانت قياسات درجة الحرارة دقيقة، ويمكن المصادقة عليها وتكرارها. وتكون أخطاء القياس 0.5 ± درجة مئوية، والأخطاء التي تحدث بسبب شاشة ستيفنسون قد تكون 0.3 ± درجة مئوية، والأخطاء المتوقعة بسبب استخدام الخشب أو البلاستيك قد تكون 0.1 ± درجة مئوية، والأخطاء الواقعة بسبب أثر جزيرة الحرارة المدينية قد تكون 0.4 ± درجة مئوية. وإن مجموع الأخطاء هو 1.3 ± درجة مئوية. وقيل إن درجات الحرارة الكونية قد ارتفعت خلال القرن الماضي 1.3 ± 0.7 درجة مئوية. فهذا الرقم لا أهمية له. وإن الخلاصة العلمية الرصينة الوحيدة التي يمكن استنتاجها هي أن درجة الحرارة في القرن العشرين قد تكون ازدادت قليلاً، أو كانت ساكنة أو حتى تناقصت.

عندما يكون هناك اكتشاف علمي جديد أو مثير للجدل أو الانتباه، تنتظر الهيئة العلمية مصادقة على هذا الاكتشاف من هيئة مستقلة أخرى. وتزدحم الأدبيات بادعاءات متراكمة غير عادية لا يمكن المصادقة عليها (من شاكلة،

(1905) R. R. McKitrick and P. J. Michaels, «A Test of Corrections for Extraneous Signals in Gridded Surface Temperature Data,» *Climate Research*, vol. 26 (2004), pp. 159-173.

(1906) أحدثها USHCN.

(1907) R. R. McKitrik and P. J. Michaels, «Quantifying the Influence of Anthropogenic Surface Processes and in Homogeneities on Gridded Global Climate Data,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), D24509, doi: 10.1029/JD008465.

الانصهار البارد). وتدل نماذج IPCC على أنه نتيجة للاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان، يجب أن يكون هناك احترار أعظم في منتصف الغلاف الجوي السفلي في المناطق الاستوائية. وتم فحص تغير درجة الحرارة في التروبوسفير السفلي في المناطق الاستوائية في الفترة بين عام 1979 وعام 2004 باستعمال 58 محطة مسبار لا سلكي (Radiosonde) ومجموعات بيانات الموجة الميكروية لجامعة ألاباما في هانتسفيل (Alabama University in Hunstville). أظهرت البيانات أنه بين عام 1979 وعام 2004، كان تغيّر درجة الحرارة 0.07 0.05 درجة مئوية[1908]. وهذا يعني أن درجة الحرارة لم تتغير في المناطق الاستوائية خلال فترة كان يجب للاحترار الكوني أن يدفئ المناطق الاستوائية. وهكذا رسب نموذج IPCC في الامتحان، وهو أساساً غير صالح[1909]. ومرة أخرى، لا علاقة لنماذج كمبيوتر IPCC بالحقيقة. فقد بيّنت الأقمار الاصطناعية والمسبارات اللاسلكية أن ليس هناك احترار كوني[1910].

للرذاذات (Aerosols) أثر ابتراد على الغلاف الجوي. وقد قيل إن تلوث الهواء المعاصر أنتج رذاذات، أحدثت ابتراداً، ويمكن لاحترار كوني من الـ CO_2 أن يسبّب ابتراداً أكبر[1911][1912][1913]. ويقال إن للرذاذات عمراً قصيراً في الغلاف الجوي[1914]، وإن الظلام العالمي أمر مؤجل أيضاً[1915]. إن هذا خطأ

(1908) J. R. Christy [et al.], «Tropospheric Temperature Change Since 1979 from Tropical Radiosonde and Satellite Measurements,» *Journal of Geophysical Research* vol. 112 (2007), D06102, 1029/2005JD006881.

(1909) R. S. Lindzen, «Taking Greenhouse Warming Seriously,» *Energy and Environment,* vol. 18 (2007), pp. 937-950.

(1910) C. F. Keller, «Global Warming 2007: An Update to Global Warming: The Balance of Evidence and its Policy Implications,» *Scientific World Journal*, vol. 7 (2007), pp. 381-399.

(1911) N. O. Bellouin [et al.], «Global Estimate of Aerosol Directi Radiative Forcing from Satellite Measurements,» *Nature,* vol. 311 (2005), pp. 1720-1721.

(1912) R. T. Pinker [et al.], «Do Satellites Detect Trends in Surface Solar Radiation,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 850-854.

(1913) M. Wild [et al.], «From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at the Earth's Surface,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 847-850.

(1914) M. O. Andreae, C. D. Jones and P. M. Cox, «Strong Present-Day Aerosol Cooling Implies a Hot Future,» *Nature*, vol. 435 (2005), pp. 1187-1190.

(1915) T. L. Delworth, V. Ramaswamy and G. L. Stenchikov, «The Impacts of Aerosols on Simulated Ocean Temperature and Heat Content in the Twentieth Century,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L24709, doi: 10.1029/2005GL024457.

في أساسه. وقد أظهرت قياسات درجة الحرارة في القرن العشرين، على الرغم من محدوديتها، تناقصاً ابتداءً من عام 1946 إلى عام 1976، وتزايداً من عام 1976 إلى عام 1998، وتناقصاً من عام 1998 وما بعد. وإذا لم تكن تغيرات درجة الحرارة هذه من ظواهر طبيعية، فيجب أن يكون هناك ظلام عالمي بسبب التلوث ابتداءً من عام 1940 إلى عام 1976 وعام 1998 وما بعد. ولم يحدث ذلك. وفوق ذلك، إن توقيف فعل الابتراد من الرذاذات فجأة في عامي 1976 و1998 يحتاج إلى سذاجة لتصديقه.

ربما كان تغيّر محتوى حرارة المحيط أداة أكثر عقلانية لتشخيص الاحترار الكوني. وباستعمال تغير محتوى حرارة المحيط، هناك تغذية راجعة سلبية للإشعاع. وبعبارة أخرى، ليس هناك احترار كوني حراري. غير أن بيانات محتوى حرارة المحيط لا تعتبر الحرارة المضافة تحت عمق 700 متر من المياه، كما إنها ليست متوفرة منذ عدة عقود[1916]. ولقد أضيفت كميات كبيرة غير معروفة من الحرارة إلى مياه المحيط من صخور منصهرة مبردة (Cooling Molten Rocks)، وبالإضافة إلى ذلك قد تعكس محتوى حرارة المحيط الحرارة التكتونية والجوية.

معالجة البيانات

يُجمِّع عدد من المراكز بيانات الأرصاد الجوية من محطات أرضية وأقمار صناعية، ومنها مركز هادلي في جامعة إيست أنجليا (Hadley Centre at the University of East Anglia)، وهو فرع من مكتب المملكة المتحدة للأرصاد الجوية، ومؤسسة غودار لدراسات الفضاء (Goddard Institute of Space Studies (GISS)) وهي جزء من ناسا (NASA)). والإدارة الوطنية لعلم المحيطات والغلاف الجوي (National Oceanographic and Atmospheric Administration (NOAA))، وهي جزء من وزارة التجارة الأميركية، وجامعة ألاباما في هانتسفيل (UAH)، وأنظمة الاستشعار عن بعد (RSS) في سانتا روزا (Santa Rosa)، كاليفورنيا. وتستعمل المجموعتان الأخيرتان بيانات أقمار صناعية فقط، بينما تكامل المجموعات الثلاث الأولى بيانات الثرمومتر التاريخية والحديثة مع

R. A. Snr Peilke [et al.], «Unresolved Issues with the Assessment of Multi-Decadal Global (1916) Land Surface Temperature Trends,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), D24508, doi: 10.1029/2006JD008229.

بيانات المسبار اللاسلكي والأقمار الاصطناعية. وتُظهر البيانات الاتجاه ذاته، على الرغم من أن بعض المراكز مثل GISS تعلن على الدوام درجات حرارة أعلى من غيرها. والسؤال هو: هل تقيس البيانات المأخوذة من محطات أرضية ومن مجموعات الأقمار الاصطناعية درجة الحرارة نفسها؟ فهنالك علاقة ضعيفة بين بيانات المحطات الأرضية وعلاقة قوية بين بيانات الأقمار الاصطناعية. وهذا ليس مفاجئاً، فالقياسات من المحطات الأرضية مبنية على عدد من الشكوك.

كيف ننظر إلى البيانات الأولية للحرارة المجمعة على الأرض، ومن مناطيد المسبار اللاسلكي ومن الأقمار الاصطناعية؟ هل مرّت هذه البيانات بعملية تصحيح أخطاء؟ وهل يستعمل متوسط 12 شهراً، أو 6 أشهر، أو ثلاثة أشهر، أو شهر؟ وفي كل مرة نحصل على نتائج مختلفة. فما هي البيانات التي تُرفض؟ وما هي البيانات التي تُعدل، أو التي تُصحّح؟ وبمجرد أن نحصل على البيانات، ما هي الإحصاءات التي نستعملها لتمثيل البيانات؟ وبسبب حجم البيانات الكبير، فإن الرسوم البيانية البسيطة التي تنتجها هادلي (Hadley)، وGISS وUAH هي النتيجة النهائية لمقدار كبير من سيرورات تجميع البيانات وتعديلها، وتصحيحها واختزالها إحصائياً.

هنالك شيء من مواءمة بين قياسات درجات حرارة السطح وتلك التي تحددها البالونات والأقمار الاصطناعية[1917]. وفي الحقيقة، بيّنت المسبارات اللاسلكية والأقمار الاصطناعية أنه ليس هناك احترار كوني[1918]. ولعل على البيانات المستخرجة من محطات أرضية أن تقيس شيئاً آخر، مثل نمو السكان، وتزايد استعمال الطاقة لكل فرد... وغيرها.

إن احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي الصغير إزعاج حقيقي، لأنها تبيّن تغيرات كبيرة في درجات الحرارة، وهي لا تتعلق بالنشاط البشري فقط. والحل بالنسبة إلى أولئك الذين يتمنون وجود احترار كوني سببه الإنسان أن يزيلوا، بكل بساطة، الحقب التأريخية تلك من السجلات، ويضعوا بدلاً منها الانتصار الثقافي

(1917) J. R. Christy [et al.], «Troposphere Temperature Change Since 1979 from Tropical Radiosonde and Satellite Measurements,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), D06102, doi: 10.1029/2005JD006881.

(1918) C. F. Keller, «Global Warming 2007: An Update to Global Warming: The Balance of Evidence and its Policy Implications,» *Scientific World Journal,* vol. 7 (2007), pp. 381-399.

الذي حققه مايكل مان (Michael Mann) وزملاؤه الذين ابتدعوا «عصا الهوكي» (احترار مان الذي ولد من العدم). واحترار القطب الجنوبي أيضاً مزعج لأن صفيحة الجليد تتسع فيما ترفض درجة الحرارة أن ترتفع، مهما كان مقدار الـ CO_2 الذي يبثّه الإنسان في الغلاف الجوي. فإذا أمكن تبيان ارتفاع درجة حرارة القطب الجنوبي، فيمكن حل هذه النقطة المزعجة، غير أن قياسات درجة الحرارة أظهرت أن القطب الجنوبي لا يحتر. إذن قد حان الوقت لتعذيب هذه البيانات وجعلها تعترف. ولقد اعترفت، وكان هناك حدث آخر: احترار آخر من صنع مايكل مان ومساعديه.

لقد رافق الإعلان في كانون الثاني/يناير 2009 عن «أن القطب الجنوبي يحتبس حرارياً[1919] جعجعة إعلامية فخمة». وسرعان ما استجابت حركة التحذير الدولية، والوسط الإعلامي العلمي غير الحاذق لهذا الإعلان، وأظهروا صور ذعر، ومضمونات ملحمية عن الاحترار الكوني القادم. وعلى الإنسان أن يكون تلقائي الارتياب من هذا العمل بسبب الناس الذي نشروا هذه الدراسة (مايكل مان ومساعديه) واستعمال تقنيات إحصائية ملتوية بدلاً من استعمال قياسات درجة حرارة الأرض. وكانت العملية التي بيّنت أن القطب الجنوبي يحتبس حرارياً هي تقنية إعادة بناء «إحصائية مناخية» للحصول على تقدير أمده 50 عاماً لشذوذ درجة حرارة القطب الجنوبي الشهري[*]، فاستخدام توريات لف ودوران بيانية تعني أن هذه البيانات قد تم طبخها لتلائم النتائج المطلوبة. إضافةً إلى ذلك، كانت هناك بيانات ناقصة من بعض محطات القياس، وتم تحريف درجة الحرارة من محطات قياس أخرى بسبب بعد المسافات بين هذه المحطات. وقد طمرت محطة قياس واحدة (Harry) بالثلج لسنوات، ثم نفض عنها الجليد فجأة عام 2005. وكانت البيانات التي استعملها شتايغ (Steig) في نموذجه، الذي ادعى أنه جاء بها من هاري، بيانات قديمة من محطة أخرى على رف جليد «روس» (Ross Ice Shelf) مع بيانات جديدة من هاري أضيفت إليها لإنتاج الاحترار المفاجئ. فالبيانات هذه لا قيمة لها البتة.

على الرغم من أن ملخص البحث ادعى أن «إعادات بناء» درجة الحرارة

E. J. Steig [et al.], «Warming of the Antarctic Ice-Sheet Surface since the 1957 (1919) International Geophysical Year,» *Nature*, vol. 457 (2009), doi: 30.1038/nature07669.

(*) «Statistical Climate Field Reconstruction Technique for 50-years long Complete Estimate of Monthly Antarctic Temperature Anomalies».

كانت قادرة على «إظهار» احترار من 0.17 درجة مئوية في العقد، خلال الخمسين عام الماضية في غرب القطب الجنوبي، و0.10 درجة مئوية فوق شرق القطب الجنوبي، و0.12 درجة مئوية فوق القارة بأكملها، ويكمن الشيطان في التفاصيل. وفي قلب البحث، كان هناك تحليل مخبأ يبيّن أنه عندما قورنت الدراسة الإحصائية بالبيانات الخارجة عن الاتجاه (Detrended)، لم يكن هناك احترار في القطب الجنوبي. وهناك مبالغة في ذكر اتجاهات درجة الحرارة[1920][1921]، وكنتيجة لتعديل البيانات، يختفي ابتراد القطب الجنوبي.

قال عالم هو باري بروك (Barry Brook) في برنامج شؤون جارية في الإذاعة (AM on ABC radio) بيّن هذا العمل أن النهاية هي لا (Nigh) وليست قريبة (Near) بحسب الأغنية (The End is Near). بينما قال عالم آخر وليام كينينمونث (William Kininmonth) إن درجة حرارة سطح المحيط المتجمد الجنوبي وانتشار الجليد فيه يبيّن الاتجاه المعاكس. ولكن هذا لم يناقش في البحث عن احترار القطب الجنوبي. وفي سجل مقابلة AM على الموقع الإلكتروني للـ ABC، تم حذف تعليقات كينينمونث.

أثر الجزيرة في نبض التمدن Urban Beat Island Effect

يضيف الأسمنت، والأسفلت، والمباني، والأرصفة، ومكيفات الهواء، والحرارة، والسيارات، والبنى التحتية الأساسية للمدينة حرارةً إلى المناطق المدينية. وتتم معظم قياسات درجة الحرارة المبنية على الأرض في مناطق مدينية، وكلما كان عدد السكان أكثر، كانت الحرارة المضافة أكثر[1922]. وإن قياسات درجة الحرارة في مواقع المدن لا يعوّل عليها، ويمكن تجاهلها أو إجراء ما يمكن لتصحيحها. وإذا كان هناك شك في صحة البيانات الأولية فمن دون شك سيكون أيُّ استنتاج عن درجة الحرارة العالمية مشكوكاً به.

كثير من محطات قياس درجة الحرارة وضعت في مناطق ريفية أو في مطارات، بعيدة عن المدن. ولقد أفسد انتشار التمدن وتجمع الأعمال حول المطارات، والزيادة في الحركة الجوية قياسات درجة الحرارة هذه. إضافة إلى

(1920) <http://www.osdpd.nasa.gov/PSB/EPS/SST/data/anomnight.1.15.2009.gif>.

(1921) <http://arctic.atmos.uiuc.edu/cryosphere/IMAGES/current.anom.south.jpg>.

(1922) H. E. Landsberg, *The Urban Climate* (New York: Academic Press, 1981).

ذلك، تضيف الغازات الحارة المنبعثة من محركات الطائرات النفاثة والمروحية الحرارة إلى منطقة المطار. وقد انتقلت بعض محطات القياس إلى مناطق أخرى للتقليل من هذه المشكلات، وهذا بدوره يحدث مشكلة أخرى. فهل يمكن ربط قياسات الموقع القديم بقياسات الموقع الجديد؟ كذلك، تغير زمن إجراء قياسات درجة الحرارة خلال اليوم أثناء فترة القياسات التاريخية. كما إن الكثير من سجلات الطقس طويلة الأمد كانت في مدن أو بالقرب منها تغيرت ظروفها الفيزيائية لدى نمو هذه المدن. وحتى لو كانت محطة القياس موضوعة بالقرى من منطقة ريفية، فإن تغير طرائق استغلال الأرض يغيّر من درجة الحرارة. وهذه التغيرات كثيرة ولا تختلف عن تغيرات درجة الحرارة التي قيل لنا إنها تستمد من إصدار الإنسان لغازات الدفيئة[1923]. ولبعض البلدان الفقيرة محطات عدة لتسجيل الطقس، ولكن مواردها محدودة في التأكد من صحة البيانات. وإن أقل من ثلث محطات الطقس التي عملت في سبعينيات القرن العشرين بقيت تعمل لحد الآن. ولا غرو أن تكوّنت تحفظات لبعض الوقت على قياسات درجة الحرارة في محطات طقس موجودة في قواعد أرضية[1924].

يقول البرنامج العلمي لتغير المناخ[1925] تعدّ المناطق المدينية من أسرع البيئات تغيراً على وجه الأرض. وبينما تنمو المدن، تؤثر في المناخات المحلية. وقد رفع أثر جزيرة الحرارة المدينية متوسط درجات حرارة الهواء المدينية بدرجتين إلى خمس درجات فهرنهايت أكثر من المناطق المحيطة خلال 100 عام خلت، وصولاً إلى 20 درجة فهرنهايت في الليل.

وقد يكون في مدن عدد سكانها 1000 نسمة احترار بمقدار درجتين مئويتين بالنسبة إلى المناطق الريفية[1926] القريبة منها. وقد أظهرت قرية بارو (ألاسكا)

(1923) R. A. Pielke [et al.], «The Influence-Change Policy Beyond the Radiative Effect of Greenhouse Gases,» *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, A360 (2002), pp. 1705-1719.

(1924) R. K. Gall, «The Recent Maximum Temperature Anomalies in Tuscon: Are They Real or an Instrumental Problem?,» *Journal of Climate,* vol. 5 (1992), pp. 657-665.

(1925) CCSP, «Temperature Trends in the Lower Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences,» *US Climate Science Program* (2006), <http://www.climatescience.gov/Library/sap/sap-1/public-review-draft-sap1-1prd-all.pdf>.

(1926) T. R. Oke, «City Size and Urban Heat Island,» *Atmospheric Environment,* vol. 7 (1973), pp. 769-779.

التي يسكنها 4600 نسمة، احتراراً مقداره 3.4 درجة فهرنهايتية في الشتاء مقارنةً بالمناطق الريفية المحيطة[1927] بها. وفي جنوب شرق أستراليا، بيّنت المدن المكتظة بالسكان أثر جزيرة الحرارة المدينية[1928]. ولوحظت الظاهرة بنفسها في أوروبا[1929]، ووسط أميركا[1930]. وفي دراسة شملت نحو 140 محطة طقس في أستراليا، بيّنت 100 محطة في المدن تزايداً في درجة الحرارة، بينما لم تبيّن المناطق خارج المدينة تغيّراً في درجة الحرارة[1931]. ويبيّن تحليل طويل الأمد للتمدن (Urbanisation) أن هناك انحيازاً شديداً نحو وضع مقياس سجل درجة الحرارة المبني على السطح[1932]. هذا ولا تأخذ قواعد البيانات العالمية بالاعتبار، عادة، مساحة المدينة، ولا تقوم بتعديلات للتمدن حتى يتجاوز عدد السكان 100000 شخص، ولا تدرك أن مدناً كثيرة عدد سكانها أكثر من 100000 شخص هي خليط من عدة مدن عدد سكان كلٍّ منها أقل من 100000 شخص. ولما كانت المدن التي عدد سكانها أقل من 1000 شخص تحدث، أيضاً، أثر جزيرة الحرارة المدينية، إلا أنه لا تجرى تعديلات بهذا الخصوص في معظم مراكز قياس الحرارة في العالم، ويمكن لتعديلات جزيرة الحرارة المدينية أن تعطي رقماً أدنى. ولا يزال يسكن مزيد من سكان العالم في المدن، وتنمو المدن حول المطارات حيث تقاس درجة الحرارة.

لقد أدرك بعض العلماء أن قياسات درجة حرارة سطح الأرض فاسدة فأجروا تعديلات لإصلاح المشكلة. وبعض العوامل المراوغة التي أريد إصلاحها، على سبيل المثال، «التعديل المديني» (Urbanisation Adjustment)، و«زمن تعديل الملاحظة المنحازة» (Time of Observation Bias Adjustment)، و«التعديل المتجانس» (Homogeniety Adjustment). وفي «التعديل المديني»، لم تحدد

(1927) K. Hinkel [et al.], «The Urban Heat Island in Winter at Barrow, Alaska,» *International Journal of Climatology*, vol. 23 (2003), pp. 1889-1905.

(1928) S. Torok [et al.], «Urban Heat Island Features of Southeast Australian Towns,» *Australian Meteorological Magazine*, vol. 50 (2001), pp. 1-13.

(1929) A. Block, K. Keuler and E. Schaller, «Impacts of Anthropogenic Heat on Regional Climate Patterns,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), L12211, doi: 10.1029/2004GL019852.

(1930) A. V. Velazquez-Lozada, J. E. Gonzalez and A. Winter, «Urban Heat Island Effect Analysis for San Juan, Puerto Rico,» *Atmospheric Environment*, vol. 40 (2006), pp. 1731-1741.

(1931) J. D. Gladstone, *Viticulture and the Environment* (Australia: Winetitles Australia, 1992).

(1932) T. R. Karl, H. F. Diaz and G. Kukla, «Urbanization: Its Detection and Effect in the United States Climate Record,» *Journal of Climate*, vol. 1 (1988), pp. 1099-1123.

محطات القياس الريفية والمدينية، فالأمر الريفي لامرئ من المدينة قد يكون مدينياً لابن الريف أو القرية. ولا نعرف إن كانت هذه التعديلات صحيحة أو يمكن قبولها واعتمادها. وإن متوسط درجات حرارة السطح السنوية للولايات المتحدة الأميركية القارية أصبحت عرضة لعملية تصحيح شاملة اسمها: «التعديل المتجانس». غير أن هناك نسختين مستعملتان[1933] تعطيان نتيجتين مختلفتين من البيانات ذاتها[1934]، وهناك احترار معتدل بعد التعديل يبلغ أقل من درجة مئوية واحدة للقرن العشرين.

بيّنت دراسات إحصائية لبيانات قائمة على اليابسة[1935]، ودرجات حرارة سطح البحر[1936]، أن درجة حرارة السطح العالمية منحازة إلى الأعلى. ولقد كان يجرى في نيويورك قياسات درجة الحرارة منذ عام 1869. كما وأجريت قياسات السنترل بارك (Central Park) [في نيويورك] في بناء بناية أرسنال (Arnesal Building) (بين شارعي 63 و64) من سنة 1909 إلى سنة 1919، وأجريت منذ عام 1920 وما بعدها في قصر بلفدير (Belveder Castle) على طريق ترانسفرس (بالقرب من شارع 79th و81st). وقد أحدثت التسوية في تسجيل مجموعات البيانات المختلفة هذه، والنمو السكاني، وتزايد استعمال الطاقة للشخص الواحد، وحركة المرور المتزايدة درجةً عالية جداً من الشك. وقد تم تعديل نحو 20 في المئة من البيانات التاريخية 16 مرة خلال السنوات الثلاث الماضية، وأنتجت معظم التغيرات اتجاهاً مرتفعاً في درجة الحرارة (على سبيل المثال، آب/أغسطس عام 2006).

عندما تطبق المنهجية ذاتها على الصين، تتقلب درجة الحرارة مع ذروات عام 1943 و1998[1937]. ولم تكن هناك دلائل على الاحترار الكوني. ويشكل

(1933) USHCN Version 1 and GHCN Version 2.

(1934) R. R. McKitrick and P. J. Michaels, «Quantifying the Influence of Anthropogenic Surface Processes and Inhomogeneities on Gridded Global Climate Data,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 112 (2007), D24509, doi: 10.1029/JD008465.

(1935) R. R. McKitrick and P. J. Michaels, «A Test of Corrections for Extraneous Signals in Gridded Surface Temperature Data,» *Climate Research*, vol. 26 (2004), pp. 159-173, and «Erratum,» *Climate Research*, vol. 27 (2004), pp. 265-268.

(1936) J. R. Christy [et al.], «Differential Trends in Tropical Sea Surface and Atmosphere Temperatures since 1979,» *Geophysical Research Letters*, vol. 28 (2001), pp. 183-186.

(1937) Z. Zhou [et al.], «Recent Studies on Attributions of Climate Change in China,» *Acta Meteorologica Sinica*, vol. 19 (2005), pp. 389-400.

الاحترار المديني في الصين في محطات قياس المدينة حوالى 65 ـ 80 في المئة من الاحترار الكلي بين عام 1961 وعام 2000، و40 إلى 61 في المئة من الاحترار الكلي بين عام 1980 وعام 2000[1938]. قد يكون للرذاذات أثر في درجة الحرارة في مناطق التصنيع الشديدة. وتبين 13 محطة طقس في أوروبا زرعت في مناطق جغرافية ومناخية مختلفة خلال فترة بين عامي 1961 و2004، أن هناك تزايداً في ضغط مستوى سطح البحر خلال عطل نهاية الأسبوع، وتزايداً متتابعاً في الظروف المعاكسة للزوابع خلال أيام الأسبوع المركزية، وإن طقس عطلة نهاية الأسبوع ممطر أكثر وأبرد من طقس الأيام العادية. وقد تَكون هذه التغيرات الأسبوعية في الدوران الجوي متعلقة بالرذاذات المتعلقة بالنشاط البشري[1939].

لقد تجاهلت وثائق IPCC والباحثون الروّاد تغيرات درجات الحرارة الناتجة من التغير في استعمال الأرض، والتمدن. وفي تقرير IPCC لعام 2007، يقول مؤلفون روّاد في الفصل الثالث (جونز وترنبرث (Jones and Trenberth)) أن أثر جزيرة الحرارة المدينية ليس أكثر من 0.05 درجة مئوية. وهذا هو الرقم الذي استعمل في بحث عام 1990 الذي قدمه جونز[1940]، ولم يمكنه تجاهل بحث صدر عام 2003 في الدورية **الطبيعة** (*Nature*) يتحدث عن أثر جزيرة الحرارة المدينية على الأقل بـ 0.25 درجة مئوية[1941].

استنتاجات من بيانات درجة الحرارة

لقد قيل إن متوسط درجة حرارة هواء سطح الأرض ازداد بمقدار 0.06 درجة مئوية في العقد خلال القرن العشرين[1942]، و0.19 درجة مئوية في العقد

(1938) G. Y. Ren [et al.], «Implications of Temporal Change in Urban Heat Island Intensity Observed at Beijing and Wuhan Stations,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L05711, 1029/2006GL027927.

(1939) A. Sanchez-Lorenzo [et al.], «Winter «Weekend» Effect in Southern Europe and its Connections with Periodicities in Atmospheric Dynamics,» *Geophysical Research Letters*, vol. 35 (2008), doi:10.1029/2008GL034160.

(1940) P. D. Jones [et al.], «The Effect of Urban Warming on the Northern Hemisphere Temperature Average,» *Journal of Climate,* vol. 2 (1990), pp. 285-290.

(1941) E. Kalnay and M. Cai, «Impacts of Urbanization and Land-Use Change on Climate,» *Nature*, vol. 423 (2003), pp. 528-531.

(1942) J. T. Houghton, G. J. Jenkins, and J. J. Ephraums, eds., *Climate Change 2001: The IPCC Scientific Assessment. Intergovermental Panel on Climate Change* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

منذ عام 1979 إلى عام 1998[1943]. وقد جعل الابتراد منذ عام 1940 وإلى منتصف السبعينيات، سجل إل نينو لعام 1998، الرقم الثاني الأعلى نسبياً من المتوسط في العقد الواحد من القرن. غير أن بيانات الأرصاد الجوية في القطب الجنوبي أظهرت ابتراداً صافياً في قارة القطب الجنوبي بين عامي 1996 و2000، وبخاصة خلال الصيف والخريف. ويقول مؤلفو[1944] هذا البحث في دورية الطبيعة بطريقة محرجة: «يشكل ابتراد قارة القطب الجنوبي، وبخاصة موسمية الابتراد، تحديات لنماذج المناخ وتغير النظام البيئي». وتشكل هذه البيانات تحديات فقط إذا كان ذهنك منغلقاً.

تزوّد الأقمار الاصطناعية تغطية أكثر شمولاً لدرجات الحرارة الجوية من «الثرمومترات»، الموزعة توزيعاً متناثراً على سطح الأرض. وقد بيّنت قياسات لدرجات حرارة عالمية من «الأقمار الاصطناعية» أن ليس هناك احترار صاف «للتروبوسفير» الاستوائي العلوي[1945]، على الرغم ممّا تتوقعه نماذج المناخ المختلفة. وقد دعمت قياسات الأقمار الاصطناعية بقياسات بالون المسبار اللاسلكي[1946][1947][1948].

وعندما رفضت بيانات درجة الحرارة التي قدمتها بالونات المسبار اللاسلكي واستمدت اتجاهات درجة الحرارة من بيانات رياح التروبوسفير، إستُنتج أن التروبوسفير الاستوائي «يزداد عند ارتفاع درجات حرارة السطح العالمية»[1949]. ويبدو أن نماذج IPCC تنجح إذا رفضت البيانات المقاسة، واستعمل بدلاً منها الاستدلالات والافتراضات. وقد قيل إن قياسات الأقمار

(1943) National Research Council, *Reconciling Observations of Global Temperature Change* (Washington, DC: National Academy Press, 2000).

(1944) P. T. Doran [et al.], «Antarctic Climate Cooling and Terrestrial Ecosystem Response,» *Nature*, vol. 418 (2002), p. 292.

(1945) كجزء من مد جوي من 12 إلى 16 كيلومتراً في الارتفاع.

(1946) R. W. Spencer and J. R. Christy, «Precise Monitoring of Global Temperature Trends from Satellites,» *Science*, vol. 247 (1990), pp. 1558-1562.

(1947) National Research Council, *Reconciling Observations of Global Temperature Change* (Washington, DC: National Academy Press, 2000).

(1948) T. R. Karl [et al.], eds., *Temperature Trends in the Lower Atmosphere: Steps for Understanding and Reconciling Differences* (Washington, DC: US Climate Change Science Program, 2006).

(1949) R. J. Allen and S. C. Sherwood, «Warming Maximum in the Tropical Upper Troposphere Deduced from Thermal Winds,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 399-403.

الاصطناعية لدرجة الحرارة تبيّن انحيازاً، وبالتالي فإنها لن تكشف الزيادة في درجة حرارة التروبوسفير المنمذجة[1950]. وعلى الرغم من تعقيدات اتجاهات درجة الحرارة مع الارتفاع، فقد نسب استنفاد الأوزون في التروبوسفير السفلي الاستوائي إلى احترار التروبوسفير[1951]. وتبين معظم أبحاث التروبوسفير أنه يمكن القيام باستنتاجات قليلة، وإن العمل يتقدم، ولا يساعد استدلال درجة الحرارة بدلاً من استعمال درجة الحرارة المقيسة في فهم الغلاف الجوي[1952].

تخفي قيم متوسط درجة الحرارة العالمية اتجاهات درجة الحرارة الفعلية ذات المعنى الإقليمي والمحلي. وتستعمل أرضية فيزيائية ورياضية لبيان أن ليست هناك درجة حرارة عالمية ذات أهمية للأرض في سياق قضية الاحترار الكوني. ويمكن للدراسات الإحصائية أن تبيّن أنه يمكن تأويل درجة حرارة معينة كاحترار وابتراد لمجموعة معيّنة من المعلومات[1953]. وليست الطبيعة مجبرة على احترام دراساتنا التجريبية، والإحصاءات وآلافكار.

روقبت موجة الحرارة الأوروبية في صيف 2003 كدليل على الاحترار الكوني. وحلّل بعض العلماء «غير الرياضيين»[1954] البيانات، وقالوا إنه «ليس هناك دعم قوي لفكرة ازدياد الحرارة الإقليمية أو الأمواج الباردة، تزايداً أو تناقصاً، مع الزمن خلال فترة اعتبرناها هنا (1979 ـ 2003).

والجواب عن سؤالهم هو: «هل كانت موجة الحرارة الصيفية عام 2003 غير عادية ضمن سياق عالمي؟ الجواب لا، لا لبس في ذلك. فلو أظهرت البيانات أن موجة الحرارة كانت غير عادية إحصائياً لكان هنالك ظاهرة غريبة في نصف الكرة الأرضية لعام 2003. إضافةً إلى ذلك، حدث شذوذ بارد ودافئ

(1950) Q. Fu [et al.], «Contribution of Stratospheric Cooling to Satellite-Inferred Tropospheric Temperature Trends,» *Nature,* vol. 429 (2004), pp. 55-58.

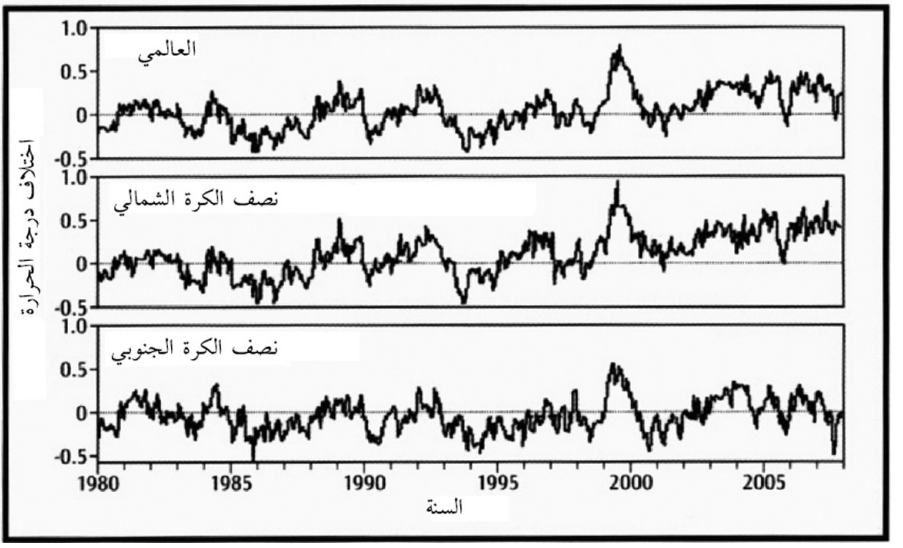
(1951) P. M. Foster [et al.], «Effects of Ozone Cooling,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L23813.

(1952) L. Haimberger, «Homongenization of Radiosonde Temperature Time Series Using Innovation Statistics,» *Journal of Climate*, vol. 20 (2006), pp. 1377-1403.

(1953) C. Essex, R. McKitrick and B. Andersen, «Does a Global Temperature Exist?,» *Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics,* vol. 32 (2007), pp. 1-27.

(1954) T. N. Chase [et al.], «Was the 2003 European Summer Heat Wave Unusual in a Global Context,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L23709, doi: 10.1029/2006GL027470.

شديد وبانتظام تجاوز حجم شذوذ 2003. ليس هنالك علاقة بين متوسط درجة حرارة نصف الكرة (الهميسفيرية) والحرارة العالمية وبين وجود شذوذ دافئ أو بارد إقليمي، وليس هناك دعم لفكرة تزايد الموجات الحرارية مع الزمن. وبينما كانت أوروبا تتصبب عرقاً من موجة حر عام 2003، كانت مناطق أخرى تمر بأوقات باردة غير موسمية. وكان الاستنتاج من كل هذا أن التغير الطبيعي في شكل «إل نينو» والانفجارات البركانية يظهران أهمية أكثر في تسبيب شذوذ درجة حرارة إقليمية أكثر من اتجاه بسيط متزايد في الزمن. وهذا يبيّن أن الميزات الإقليمية لا يمكن أن ترى كظاهرة عالمية.



الشكل 51: درجات الحرارة العالمية محسوبة من قياسات الأقمار الاصطناعية. هناك احترار كوني ضئيل في أواخر القرن العشرين في النصف الشمالي للكرة الأرضية، وابتراد خفيف في أواخر القرن العشرين في النصف الجنوبي للكرة الأرضية، وليس هناك احترار كوني ظاهر أو ابتراد للكوكب ككل.

في مناطق أخرى، لم تسجل بعض درجات الحرارة الأشد ارتفاعاً في تسعينيات القرن العشرين، حيث ادعت IPCC أنه أحرّ عقد في القرن. وكانت أعلى درجة حرارة مسجلة في 13 أيلول/سبتمبر 1922 في ليبيا (58 درجة مئوية)، والأعلى في الولايات المتحدة الأميركية كانت 56.7 درجة مئوية (ديث

فالي (Death Valley) عام 1913) والأعلى في كندا كانت 45 درجة مئوية (5 تموز/يوليو 1937). وكانت سنوات الزبد الرمادية في الولايات المتحدة الأميركية (1920s-1930s) مع الذروة في 1934 ـ 1936) الأحر في الولايات المتحدة الأميركية، وكندا والمكسيك، وربما كانت الثلاثينيات عقداً أحر من التسعينيات.

يتصف فصل الصيف في جنوب شرق أستراليا بموجات حارة، وحرائق غابات، وهجمات لسمك القرش، وبالأعاصير الاستوائية والفيضان في شمال أستراليا. وكل هذا يجعل الأخبار المشهدية تنسخ بعضها البعض. وكان لصيف 2008 ـ 2009 كل هذه العناصر مع موجة الحر المستمرة والأطول لعقود. وكانت الحرائق المفجعة في فكتوريا في 7شباط/فبراير 2009، بلغت الحرارة 47 درجة مئوية في النهار، قد نفختها رياح قوية. وقد احترق أكثر من 1800 منزل، مع فقدان مأساوي لمئات الأرواح، وتم محو أربع مدن صغيرة من الخارطة. وقد أُشعلت بعض الحرائق عن قصد. ونسب الإعلام وبعض المعلقين البيئيين ظروف حرائق الشجر الصيفية هذه إلى آثار الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان. وكانت مقاطع إخبارية تلفزيونية عن حرائق شجر فكتوريا، تمثل صوراً عن دمار إعصاري وفيضانات في شمال كوينزلاند (Queensland) وأوساخ الثلج، وعواصف ثلجية شديدة البرودة في الولايات المتحدة الأميركية وكندا والمملكة المتحدة وأوروبا. وتحدث البروفسور جيفري بليني (Professor Geoffrey Blainey)[1955] برزانة عن كارثة حرائق الأشجار في 7 شباط/فبراير 2009 قائلاً ما يلي:

في تأريخنا المسجل، لم تكن هناك حرائق أشجار مدهشة مثل حرائق شباط/فبراير 1851، عشية اندفاع الذهب الأول. وقد سموه الخميس الأسود، الذي بدت فيه نصف فكتوريا تحت رحمة الحريق. وكانت الرياح الشمالية المتوحشة تهب دافعة عموداً من الدخان الأسود حول مضيق باس (Bass Strait) حتى أن مدينة واحدة بالقرب من ديفونبورت (Devonport) كانت داكنة في منتصف النهار، فظن الناس أن نهاية العالم قد أزفت. وكانت فترة ما بعد الحرب العالمية الأولى جافة في فكتوريا. وكانت السنون الخمس المدمرة

(1955) *Herald Sun* (9 February 2009).

لحرائق الأشجار هي 1919، 1926، 1932، 1939، و1944. وقد نسيت حرائق 1926، ونجا في مدينة غلدروي، عاملان فقط من 14 عاملاً كانوا يعملون في الغابة. وقتل أكثر من 50 من سكان فكتوريا في حرائق الأشجار في شهر شباط/ فبراير ذلك العام. وإنني لأذكر يوم الجمعة الأسود، 13 كانون الثاني/ يناير 1939، حيث تجاوز ما احترق من الشجر والغابات في نهاية ذلك الأسبوع مليوني هكتار، وفقد نحو 1300 منزل، و69 منشرة أخشاب، ومات أكثر من 70 من سكان فكتوريا في ذلك اليوم.

تبيّن بيانات «التروبوسفير» الأسفل للنصف الجنوبي من الكرة الأرضية(1956) منذ إطلاق الأقمار الاصطناعية عام 1979 أن شذوذ متوسط درجة الحرارة يتذبذب حول الصفر. وبعبارة أخرى، إن درجة الحرارة لا تتغير. وإن عدم وجود هذا الاحترار في النصف الجنوبي للكرة الأرضية يناقض النصف الشمالي للكرة الأرضية حيث كان هناك احترار مقداره 0.5 درجة مئوية منذ أن أجريت القياسات. وهذا الاحترار مستنتج من قياسات الثرمومتر. غير أن قياسات الأقمار الاصطناعية لدرجة الحرارة تبين أن الاحترار الكوني ليس عالمياً. ولم يكن هناك ارتفاع ثابت في درجة الحرارة في النصف الشمالي للكرة الأرضية من 1979 إلى 2006. ويتأرجح شذوذ درجة الحرارة حول الصفر من 1979 إلى 2000 ثم يأخذ خطوة نحو الأعلى. ولا يمكن لهذا الاحترار بنحو 0.5 درجة مئوية أن يتلازم مع الارتفاع في تركيز CO_2 الجوي.

انخفضت درجة الحرارة منذ 1998، وأظهرت قياسات الثرمومترات أن ارتفاع درجة الحرارة من عام 1890 إلى 1940 سبق الارتفاع في تركيز CO_2، وأن انخفاض درجة الحرارة منذ عام 1940 إلى عام 1976 حصل في وقت كان فيه تركيز CO_2 يزداد. فالتغيرات في درجة الحرارة لا تتلازم مع التغيرات بتركيز CO_2 بل تتعلق بالنشاط الشمسي.

بيّن مركز هادلي في المملكة المتحدة أن الاحترار توقف عام 1998، ولكن انبعاثات الـ CO_2 لم تتوقف. حتى قال راجندا باشاوري (Rajenda Pachauri)، رئيس IPCC إن مؤسسته يجب أن تراجع حساباتها الآن. وربما مراجعة الحسابات يعني النظر في تدوير زوايا انعدام الحساسية المناخية بدون

(1956) <http://www.atmos.uah.edu/data/msu/t2lt/tltglhmam_6.0p>.

تغذية راجعة من 0.265[1957] إلى 0.300[1958][1959]، كما ورد في تقريرهم عام 2007. وفي هذه المراجعة، ربما يتوجب إعطاء نظام الدقة حقه، وربما رفع الشكوك حول مستوى الفهم العلمي لهذا المتغير الأساسي. إن المقاربة في تجميع 13 في المئة تسبب زيادة 50 في المئة في حساسية المناخ المركزية لـ IPCC، لـ IPCC، المنتفخة بزيادة 70 في المئة غير مصرح عنها منذ 1995 في تقدير IPCC المركزي لعامل التغذية الراجعة. وفي حساب التغذية الراجعة لبخار الماء، تتجاهل IPCC ثلثي أثر التبريد بالتبخير[1960]، وتفترض أن الطاقة المنعكسة من الغيوم يجب أن تكون سلبية، على الرغم من البيانات التي تبيّن أنها إيجابية[1961].

إن النماذج التي اعتمدتها IPCC في تفاعل بخار الماء، وCO_2 وانسياب الطاقة الإشعاعية في منتصف التروبوسفير الاستوائي مشحونة بالخطأ[1962]، والنتيجة إن تقديرات حساسية المناخ لـ IPCCمبالغة ثلاثية الأضعاف[1963]، وإنه ليس مدهشاً أن كثيراً من العلماء يتحدثون بانزعاج عن IPCC.

عوضاً عن القيام بتوقعات معتمدة على بيانات مجمّعة، تبيّن بيانات طويلة الأمد من مرصد أرماغ (Armagh Observatory) في شمال إيرلندا[1964] أن

(1957) J. Hansen [et al.], «Climate Sensitivity: Analysis of Feedback Mechanisms,» in: J. E. Hansen and T. Takahashi, *Climate Processes and Climate Sensitivity* (Washington, DC: American Geophysical Union Monograph, 1984), vol. 29, pp. 130-163.

(1958) S. Bony [et al.], «How Well do We Understand and Evaluate Climate Change Feedback Processes?,» *Journal of Climate*, vol. 19 (2006), pp. 3445-3482.

(1959) R. Colman, «A Comparison of Feedbacks in General Circulation Models,» *Climate Dynamics*, vol. 20 (2003), pp. 865-873.

(1960) F. J. Wentz [et al.], «How Much More Rain Will Global Warming Bring?,» *Science*, vol. 317 (2007), pp. 233-235.

(1961) R. W. Spencer [et al.], «Cloud Radiation Budget Changes Association with Tropical Intraseasonal Oscillations,» *Geophysical Research Letters*, vol. 34 (2007), L15707, doi:10.1029/2007GL029698.

(1962) D. H. Douglass [et al.], «A Comparison of Tropical Temperature Trends with Model Predictions,» *International Journal of Climatology of the Royal Meteorological Society*, vol. 28 (2007), pp. 1693-1701.

(1963) R. S. Lindzen, «Taking Greenhouse Warming Seriously,» *Energy and Environment,* vol. 18 (2007), pp. 937-950.

(1964) C. J. Butler, A. Garcia-Surez and E. Palle, «Trends and Cycles in Long Irish Meteorological Series,» *Proccedings of the Royal Irish Academy*, 107B (2007), pp. 157-165.

درجات الحرارة القصوى والدنيا ارتفعت مع المتوسطات العالمية، غير أن الدنيا منها ارتفعت ارتفاعاً أسرع من القصوى، وخفضت بالنتيجة مدى درجة الحرارة اليومي. وقد انخفض العدد الكلي لساعات سطوح أشعة الشمس منذ 1885 في المواقع الأربعة التي درست؛ وهذا متوافق مع ارتفاع التغيم وانخفاض مدى درجة الحرارة اليومية.

لقد كانت هناك دورات بارزة لدرجة الحرارة خلال فترات من 7 ـ 8 سنوات، و20 ـ 23 عاماً، و30 ـ 33 عاماً في السلسلة الموسمية والسنوية للأرصاد الجوية من أرماغ (Armagh). ويرتبط بعض هذه الدورات بترددات شمال الأطلسي. وهنالك فارق كبير بين التوقعات الرومانتيكية للإعلام في مكتب الأرصاد الجوية في بريطانيا وتحليل مدى واسع من البيانات المجمعة عبر أكثر من 100 عام، فيحصل بعض هذه البيانات على إضاءات إعلامية وتهمل الأخرى.

ليست السنوات الثلاثون الأخيرة من الطقس متوافقة مع ما توقعته نماذج الدفيئة، ويمكن تفسيرها تفسيراً أفضل من خلال العمليات الطبيعية، مثل الاختلاف الشمسي(1965). إضافةً إلى ذلك، تبيّن بيانات الأقمار الاصطناعية والمناطيد أن اتجاهات الاحترار الجوي لا تتجاوز اتجاهات احترار السطح، بينما تتطلب نماذج الدفيئة أن يكون اتجاه الغلاف الجوي يزيد ضعفين أو ثلاثة أضعاف، وإن نتائج كهذه تتعارض مع نتائج IPCC ومع كثير من الأبحاث المبنية أساساً على مجموعة البيانات ذاتها. ولا يمكن التأثير في تغير المناخ بعمليات طبيعية أو تعديله بالتحكم بانبعاثات CO_2.

هناك أمثلة كثيرة تبيّن أن الاحترار الكوني ليس عالمياً؛ فعلى سبيل المثال، يبيّن تحليل البيانات من 1958 ـ 2001 من ثماني محطات قياس في جنوب غرينلاند أنه كان هناك ابتراد بارز بـ 1.29 درجة مئوية خلال فترة الـ 44 عاماً(1966). كما بيّنت درجات حرارة السطح في بحر اللابرادور ابتراداً آخر.

(1965) D. H. Douglass [et al.], «A Comparison of Tropical Temperature Trends with Model Predictions,» *International Journal of Climatology of the Royal Temperature Society*, vol. 28 (2007), pp. 1693-1701.

(1966) E. Hanna and J. Cappelen, «Recent Cooling in Coastal Southern Greenland and Relation with the North Atlantic Oscillation,» *Geophysical Research Letters*, vol. 30 (2003), p. 1132, doi: 10.1029/ 2002/ GL015797.

ويتعلق هذا الابتراد بتغيرات في ترددات شمال الأطلسي خلال بضعة عقود ماضية، وربما بتأثير فعّال على صفحة جليد غرينلاند. وتؤكد قياسات درجة الحرارة منذ 1784 وقياسات 13 محطة طول الساحل الجنوبي، والغربي لغرينلاند صحة حسابات طرق الجليد لدرجة الحرارة[1967]. وكان عام 1863 أبرد عام، وكان العقد من 1810 ـ 1820 أبرد عقد، وهو العقد الذي حدث فيه انفجار بركان تامبورا. إن أدفأ عام مسجل كان عام 1941، بينما كانت ثلاثينيات القرن العشرين وأربعينياته أدفأ عقدين. وكان آخر عقدين من القرن العشرين أبرد من العقود الستة السابقة لهما. ولم يحدث احترار صاف منذ الفترة الدافئة للثلاثينيات والأربعينيات.

ضمن مدى 500 عام، كان الكوكب يحتبس. ولكن احتراره مقارنة بماذا؟ فقد كنّا في قبضة العصر الجليدي الصغير قبل 500 عام، ونحمد الله أنه أدفأ الآن. وضمن مدى 500 عام، كانت هناك فترات كثيرة من الاحترار والابتراد. وضمن مدى 5 ملايين عام، كانت هناك فترات كثيرة من البرد الشديد، وفترات قصيرة كثيرة من الدفء. لماذا؟ لأننا نعيش في عصر التجلد البلايستوسيني الذي لم يكمل دورته بعد.

معرفة الحرارة بوسائل غير مباشرة

هناك طرق غير مباشرة (Proxy) عدة يمكن بها تحديد مناخ الأزمنة التي سبقت قياسات الثرمومتر النظامية عام 1860. وكما هو الحال مع أي طريقة علمية، فإن لجميع هذه الوسائل محدودياتها.

ومن هذه الوسائل إمكانية استعمال الفحم، والخث، وطبقات غبار الطلع المتحجر، والبذور، والأشنات، والخشب، وأوراق الشجر لإعادة تشكيل صورة عن الطقس في الأزمان الغابرة. للكثير من البيانات المستحصلة محدوديات ارتفاع تستخدم لتشكيل خطوط عامة عن أشجار قديمة، ولبعضها محدوديات نمو في درجة الحرارة، وجميعها يعتمد على توفر الـ CO_2 وكميته. وتسمح أوراق النباتات الأحفورية بإعادة بناء محتوى CO_2 في الغلاف الجوي القديم. وإذا كانت نبتة أحفورة مشابهة لنبتة حديثة فيسمح قياس ما في ثغور

B. M. Vinther [et al.], «Extending Greenland Temperature Records into the Late (1967) Eighteenth Century,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 111 (2006): 10.1029/2005JD006810.

(Stomata) تنفس الورقة[1968]، لحساب محتوى CO_2 الجوي. فعلى سبيل المثال، استخدمت الثغور ومقاييس مباشرة في حساب محتوى CO_2 الجوي فوجد أنه ضمن 560 ـ 960 ppmv خلال منتصف العصر الطباشيري، تبعه زمن كان فيه 620-1200 ppmv[1969]. وإن محتوى CO_2 الجوي الحالي 385 ppmv. ويستعمل توزيع الخشب المتحجر، وأوراق الشجر، وطبقات الطلع الغبارية، والبذور، والأشنات في الفحم لتقرير إحداث المناخ القديم. ويختلف ترسب الفحم من سهل الدلتا العلوي إلى المستنقعات الساحلية المدفوعة خلف الرمال، وتعكس النباتات هذه البيئات المختلفة[1970]. وكما هو متوقع فإن قياسات درجة الحرارة من النباتات ليست دقيقة جداً، فحتى نباتات القطب الشمالي تحب الدفء. وإن القيود الرئيسية على توطن النباتات هي الارتفاع، وتساقط الأمطار، والرياح، والمواد الغذائية، ومحتوى CO_2 للغلاف الجوي. أما درجة الحرارة فهي ليست المتغير الوحيد.

هناك قصة مفخخة في الوحل في كثير من ترسبات البحيرات؛ فإن سماكة طبقات الوحل في بحيرات تحتوي على طبقات طلع غبارية حوالى 0.3 ملليمتر، مع وجود طبقة أحياناً أسمك بـ 0.1 ملليمتر. وإن لطبقات الطلع الغبارية، والأبواغ والبذور تغليفاً شمعياً يحميها من التلاشي ما يجعل مهمة القياس واردة لفترات طويلة من الزمن. وتبين مادة النباتات تغيرات عن النوع الإقليمي خلال الزمن، ومن خلال مكاملة النتائج مع طلع من مناطق مختلفة يمكن الاستدلال على التغيرات المناخية في النصف الشمالي للكرة الأرضية (على سبيل المثال، جبال ماسيف وسط فرنسا[1971]، وجنوب إيطاليا[1972]، ومدىً من الاختلافات في شمال غرب الولايات المتحدة الأميركية)[1973]. إن للخنافس (التي تمثل

(1968) Stomata.

(1969) M. Haworth [et al.], «Mid-Cretaceous pCO_2 Based on Stomata of the Extinct Conifer Pseudofrenelopsis (Cheirolepidiaceae),» *Geology,* vol. 33 (2005), pp. 749-752.

(1970) C. F. K. Diessel, *Coal-Bearing Depositional Systems* ([New York]: Springer-Verlag, 1992).

(1971) N. Thouveny [et al.], «Climate Variations in Europe Over the Last 140 Kyr Deduced from Rock Magnetism,» *Nature*, vol. 371 (1994), pp. 503-506.

(1972) J. R. M. Allen [et al.], «Rapid Environmental Changes in Southern Europe during the Last Glacial Period,» *Nature*, vol. 400 (1999), pp. 740-743.

(1973) C. Whitlock and P. J. Bartlein, «Vegetation and Climate Change in Northwestern America during the Last 125 Kyrs.,» *Nature*, vol. 423 (1997), pp. 57-61.

ثلاثة أرباع عدد الحيوانات في المملكة الحيوانية) في البيئات الأرضية وبيئات المياه العذبة والمياه المجّة (Brackish)، مساكن تعتمد على عوامل المناخ المحلي، وتهاجر بسرعة إلى مناطق أكثر ملاءمةً إذا كان هناك تغير خفيف في المناخ، وتعتبر هذا مقياس رائع لدرجة الحرارة. وبإمكان الأشجار أيضاً أن تخبرنا عن الشمس، فقد بيّنت دراسات حلقات الأشجار السنوية في فنوسكانديا (Fennoscandia) وشبه جزيرة كولا (Kola)، وشمال سيبيريا قيم دورات C^{14}، وإن الفترات الرئيسية للدورات الشمسية كانت في 22، و23 و80 ـ 90 سنة. وكانت دورة الـ 11 عاماً ضعيفة جداً[1974].

إن حلقات نمو الشجر السنوية هي أحد المقاييس الشائعة لتحديد المناخات القديمة. ترى كم هو مدى دقتها؟ لقد أعطت موجة الحرارة العالية عام 2003 فرصة لاختبار كفاءة استعمال حلقات نمو الأشجار كمقياس[1975] وكيل (غير مباشر). فمن المتوقع أن يكون للحرارة أثر قوي في نمو الأشجار، وبخاصة عندما تكون الأشجار ضمن حدودها البيئية المؤثرة.

كان نمو أشجار الصنوبر والفصيلة الراتنجية النرويجية خصوصاً مقموعاً في المناخ الألبي الجاف الداخلي لجبال التيرول في النمسا (قلّما يصل إلى 35 في المئة)، فكان النمو معتمداً على وضع الشجر في البيئة الألبية، وعلى هطول الأمطار، ولم يكن لدرجة الحرارة أثر في حلقات نمو الأشجار. وقد عانت الغابات الأمازونية تغيرات طالت 25 في المئة من مساحة أوراق الشجر، اعتماداً على موسمية الإشعاع الشمسي[1976]. ولأن حلقات الأشجار السنوية تختلف وموقع الجزء الأعلى المتغصن من الغابة، لذلك ينبغي التعامل بحذر لدى استعمال حلقات نمو الأشجار كمقاييس للمناخ.

بيّنت دراسة لـ 39 نوعاً من الأشجار فوق خط عرض 50 من كولومبيا الاستوائية إلى كندا الشمالية أن درجة الحرارة الداخلية للأشجار تبقى ثابتة عند

(1974) E. Kasatkina [et al.], «Stardust Component in Tree Rings,» *Dendrochronologica*, vol. 24 (2007), pp. 131-135.

(1975) P. Pichler and W. Oberhuber, «Radial Growth Response of Coniferous Tress in an Inner Alpine Environment to Heat-Wave of 2003,» *Forest Ecology and Management,* vol. 242 (2007), pp. 688-699.

(1976) R. B. Myneni [et al.], «Large Season Swings in Leaf Area of Amazonian Rainforests,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104 (2007), pp. 4820-4823.

21.4 درجة مئوية خلال موسم النمو[1977]. وقد استعملت نسب نظائر الأكسجين في الأوراق وفي حلقات نمو الأشجار السنوية لعقود لتحديد درجة حرارة الهواء، على افتراض أن درجة حرارة ورق الشجر مساوية لدرجة حرارة الهواء. وهذا ما تم القيام به أيضاً باستعمال حلقات نمو الشجر لتحديد المناخات التاريخية. غير أن هذه التقنية قد تكون مُقصِّرة أو خاطئة. فأوراق الشجر أبرد داخلياً في المناخات الدافئة، وأدفأ في المناخات الباردة. وتبقى أوراق الشجر باردة بالتبخر المستمر للمياه فيها، وتخفيض شدة التعرض للشمس من خلال زوايا الأوراق وذلك لمزايا الانعكاس الذي تتمتع بها الورقة. ويكتسب الدفء في الورقة عادة بتخفيض التبخر وزيادة عدد الأوراق في الغصن. وعليه فإن مساحة الورق الراتنجي الكندي الأسود (Canddian Black Spruce) هي مثل مساحة ورق شجر الصنوبر الكاريبي (Caribean Line)، على الرغم من الاختلاف في الهيئة والتصميم. ولعل هذه الحيل التركيبية تكيفات تطورية لمساعدة الأشجار على كسب أقصى كمية ممكنة من المواد الغذائية من خلال عملية التركيب الضوئي الأمثل، وكذلك في ضبط درجة الحرارة الداخلية للنبات.

باستعمال شجر اللاركس الأرزي (Lare trees)، بيّن سجل متوسط درجة حرارة الصيف في جبال الألب الأوروبية من عام 755 إلى عام 2004 ارتفاعاً في درجة الحرارة في أوائل القرن العاشر وأوائل القرن الثالث عشر وأوائل القرن العشرين. وتم بهذه الطريقة أيضاً قياس الابتراد المطول من 1350 إلى 1700. ويتوافق هذا مع دراسات أخرى، ويعكس احترار العصور الوسطى، والعصر الجليدي الصغير، واحترار أواخر القرن العشرين. وكان أبرد عقد في السجل هو 1810 ـ 1820، متزامناً مع الابتراد الذي سببّه اندلاع البركان «تامبورا». وكان أدفأ عقد في السجل هو أربعينيات القرن العشرين. وتشير معلومات أخرى إلى أنه كان هناك ابتراد عالمي من عام 1940 إلى 1976، خلافاً لقياسات درجة الحرارة الفعلية بالطرائق المختلفة. ويدل هذا المثال على ضرورة توخّي الحذر عند استعمال مقاييس درجة الحرارة.

تزامنت فصول الصيف الدافئة مع فترات من نشاط شمسي مرتفع، وتزامنت فصول الصيف الباردة مع فترات من نشاط شمسي منخفض. وتعطي

(1977) B. R. Helliker and S. L. Richter, «Subtropical to Boreal Convergene of Tree-Leaf Temperatures,» *Nature*, vol. 454 (2008), pp. 511-514.

الجملة الأخيرة من هذه الدراسة صورة واضحة[1978] للاستنتاج أن: «مساهمة القرن العشرين بغازات ورذاذات دفيئة من صنع الانسان تبقى غير موثوقة».

كانت فترات في الماضي أدفأ بكثير من احترار أواخر القرن العشرين، وهذا يتوافق مع تغيرات في النباتات، والاتساع الجليدي، وخطوط الأشجار، وعرض حلقات الأشجار، وتاريخ البحيرات والأنهار. وتتوافق بيانات النمسا مع بيانات من الطرف الآخر من العالم في التيبت[1979]، وكندا[1980]؛ ففي التيبت، كان الجو أدفأ مما هو اليوم في الفترة بين 1150 ـ 1380، وكانت هناك سلسلة من الفترات الباردة من 1430 إلى القرن التاسع عشر، مع تقدم جليدي في الفترة 1580 ـ 1590، ومن نهاية القرن الثامن عشر إلى بداية القرن التاسع عشر، ومن 1860 ـ 1880. وتبيّن بذور الطلع في كندا أن العصر الجليدي الصغير كان ماسكاً قبضته في كندا قبل 700 إلى 150 عاماً مضت.

يتساقط الغبار باستمرار على الأرض. وينشأ من الصحارى، والبراكين، والنشاطات الصناعية، ومصادر من خارج الأرض. وإذا سقط هذا الغبار على شاطئ أو على يابسة، فهناك فرصة ضئيلة أن يبقى ليروي قصة طويلة الأمد. غير أن الغبار الذي يسقط في المحيطات العميقة والبحيرات والجليد، ولا يفقد بالتيارات، ولا الحيوانات المختبئة، والنباتات، والنشاطات الإنسانية يعطي سجلاً أفضل عن الأحداث الماضية. إن الترسبات الرقيقة جداً التي تكوّنت ببطء، هي المكان الأفضل للبحث عن الغبار. وإذا أمكن استعمال تقنية إشعاعية لتحديد زمن هذا الغبار، سيمكن وضع تاريخ الغبار مع بعضه البعض كمقياس للمناخ. هذا وقد ترسب مزيد من الغبار من الصحارى خلال أزمنة الابتراد الكوني عندما كانت الرياح أشد.

لقد فحصنا ورأينا في أماكن أخرى الغبار البركاني، والغبار من خارج الكوكب، والغبار الناتج من الصناعة القديمة مثل التعدين الروماني في إيبيريا.

(1978) U. Buntgen [et al.], «Summer Temperature Variations in the European Alps, A. D. 755-2004,» *Journal of Climate*, vol. 19 (2006), pp. 5606-5623.

(1979) A. Bräuning, «Tree-Ring Evidence of «Little Ice Age» Glacier Advances in Southern Tibet,» *The Holocene*, vol. 16 (2006), pp. 369-380.

(1980) D. J. Hallett and L. V. Hills, «Holocene Vegetation Dynamics, Fire History Lake Level and Climate Change in the Kootenay Valley, Southeastern British Columbia, Canada,» *Journal of Paleolimatology*, vol. 35 (2006), pp. 351-371.

فالغبار يُعدّ أداة قياس غير مباشرة (Proxy) ومفيدة، غير أنه لا يمكن استعماله لإعطاء درجات حرارة دقيقة جداً في أزمنة سابقة.

إن عملية التجوية تشمل المياه والهواء والكائنات المجهرية. وتحول هذه العملية الصخور إلى تربة. وتتأكسد الصخور خلال التجوية، وتَرشَح، وتُميَّه، وتُكربن وتخفّ كثافتها وحجمها، وتزداد مساميتها ونفاذيتها. غير أن بعض المعادن المقاومة للتجوية تبقى في التربة، وهذه المعادن هي معادن التيتانيوم (الروتايل، الإلمنايت (Rutile, ilmenite)) والزيركون (Zircon) والسليكات[1981]. تزال المادة التي مرت بالتجوية بالتآكل (Erosion)، وترسب المادة المتآكلة كراسب (Sediment). وإن أفضل الترسبات الملائمة للدراسة هي تلك الموجودة في الأحواض (Basins)، حيث لا يوجد أكسجين، وبالتالي لا توجد كائنات مختبئة تدور حول الترسبات وتدمر الدلائل. إن لبعض الترسبات طبقات فاتحة اللون (غنية ـ بالبلانكتون (Plankton-rich)) وأخرى داكنة (غنية ـ بالمعادن). وتمثل هذه التغايرات الاختلافات الموسمية في مياه السطح التي تسبّبها الرياح التجارية والترسبات الإقليمية. ويمكن أن ترصد تغيرات مناخية سنوية لـ 15000 عام وأخرى عَقدية لـ 500000 عام[1982]، حتى يصبح هذا الترسب في الأحواض صخوراً ترسبية.

يكون معدل التآكل عالياً خلال فترات من هطول الأمطار الشديد، بينما يكون معدل التآكل منخفضاً في الجفاف. وتغسل الأوحال من التربة خلال فترة هطول الأمطار القليلة، مخلّفة معادن ثقيلة مثل التيتانيوم، الذي يقل في الترسبات الآتية من التآكل. تزال طبقة التراب في فترة هطول الأمطار الشديدة، ويصبح الترسب غنياً بالتيتانيوم، ولذلك يمكن للتيتانيوم في الترسبات الطينية، وبخاصة في ترسبات البحيرات، أن يعطي إشارة عن المناخ القديم، ولقد حدد التيتانيوم في ترسبات البحيرات في طرفي المحيط الهادي، ترددات المناخ[1983]، والاحترار الروماني، والعصور المظلمة، واحترار العصور الوسطى، والعصر

(1981) Rutile TiO_2, Imenite $FeTiO_3$, Zircon $ZrSiO_4$.

(1982) L. G. Peterson [et al.], «Rapid Changes in the Hydrological Cycle of the Tropical Atlantic during the Last Glacial,» *Science*, vol. 290 (2000), pp. 1947-1951.

(1983) P. A. Mayewski [et al.], «Holocene Climate Variability,» *Quaternary Research,* vol. 62 (2004), pp. 243-255.

الجليدي الصغير، واحترار أواخر القرن العشرين[1984][1985][1986][1987]. كما وأنتج تغير المناخ العالمي، إضافةً إلى ذلك، جفافاً مدمراً اجتماعياً استمر لسنوات وعقود[1988].

إن المرجان الذي يزدهر في مياه دافئة ضحلة عند خطوط عرض منخفضة مؤشر جيد على درجة حرارة سطح البحر. ويمكن الاستدلال على ذلك من دراسات نظائر الأكسجين. لقد تم التعامل مع قياسات المرجان من قَبْل لتبيان تغير مستوى سطح البحر ودرجة حرارته. ويمكن للمرجانيات أن تبيّن أحداثاً حصلت البارحة فقط. على سبيل المثال، كانت هناك علاقة بين درجة حرارة سطح البحر والنشاط البركاني القريب من خط الاستواء للسنوات الـ 450 الماضية. وتكاملت بيانات نظائر المرجان هذه مع حلقات نمو الشجر السنوية وبيانات لب الجليد لتبيان أن فترة باردة طويلة كانت هناك تبعت انفجار بركان تامبورا عام 1815، وفترة باردة أخرى متصلة باندلاع بركاني استوائي غير معروف[1989].

تنمو الصواعد والهوابط (Stalagmites and Stalactites) في كهوف، وترتبط بالطقس حيث تتشكل من مياه الأمطار التي مرت خلال التربة وحجر الجير لتكوين ترسبات كربونات الكالسيوم. وبينما تتغير كيمياء هذه المياه ومناخ الكهف خلال العام، تترسب أنواع مختلفة من كربونات الكالسيوم، مكوّنة طبقات أو حلقات. ويمكن ربط عرض الحلقة أو سرعة نمو الصاعد في أي سنة

(1984) G. H. Haug [et al.], «Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone through the Holocene,» *Science*, vol. 293 (2001), pp. 1304-1308.

(1985) L. Almeida-Lenero [et al.], «Holocene Climatic and Environmental Change from Pollen Records of Lakes Zempoala and Quila, Central Mexican Highlands,» *Reviews of Palaeobotany and Palynology*, vol. 136 (2001), pp. 69-32.

(1986) D. A. Hodell, M. Brenner and J. H. Curtis, «Terminal Classic Drought in the Northern Maya Lowlands Inferred from Multiple Sediment Cores in Lake Chichancanab (Mexico),» *Quaternary Science Reviews*, vol. 24 (2005), p. 1413.

(1987) G. Yancheva [et al.], «Influence of the Intertropical Convergence Zone on the East Asian Monsoon,» *Nature,* vol. 445 (2007), pp. 74-77.

(1988) G. H. Haug [et al.], «Climate and the Collapse of the Maya Civilization,» *Science*, vol. 299 (2003), pp. 1731-1735.

(1989) R. D'Arrigo, R. Wilson and A. Tudhope, «The Impact of Volcanic Forcing on Tropical Temperatures during the Past Four Centuries,» *Nature Geoscience*, vol. 2 (2009), pp. 51-56.

من السنين مباشرةً مع المناخ. ولما كانت الصواعد تتشكل في فترات طويلة من الزمن، فإنها تعطي صورة أكثر دقة عن الاختلاف المناخي طويل الأمد بالاقتران مع دراسات حلقات الشجر، وبالإضافة إلى ذلك فإن الصواعد محمية من أي تأرجح هائج في الطقس قد يحدث فوق الأرض المكشوفة. وتتشكل الصواعد في آلاف عدة من السنين، وإذا كانت في النوع الصحيح من الكهوف، فإنها تستطيع أن تحتفظ بإشارات عن درجة الحرارة، ومستويات الترسب خلال الزمن الذي تشكّلت فيه. وخلال التجوية، يذيب الماء اليورانيوم وكذلك الثوريوم ومخلفات إشعاعية أخرى في الصواعد، ويمكن استعمالها لقياس زمن ترسب كل طبقة. غير أن الأمر ليس بهذه البساطة، فإذا كان هطول المطر دون المستوى الحرج، أو انغلق الثلج في الجليد والجمد السرمدي (Permafrost)، عندئذ يعطي الهابط (Stalectite) سجلاً غير مكتمل.

تعطي نظائر الكربون (C^{12},C^{13}, C^{14}) والأكسجين (O^{16} O^{18}) مفاتيح لدرجة حرارة المياه، وتركيز CO_2 الجوي ومساهمة الإنسان في CO_2 الجوي. ويمكن استعمال السترونتيوم والمغنيزيوم والكالسيوم ومواد عضوية أخرى موجودة في الهوابط لتحديد ماهية البيئات القديمة. هذا وقد بيّنت محاولات لاستخدام عرض حلقة الصواعد، بدلاً من حلقات نمو الأشجار، في تحديد المناخات القديمة، ولكن تبيّن أن لا علاقة بينهما في المنطقة نفسها[1990]. إن نظائر الأكسجين وحدها يمكنها إعطاء تحديد دقيق لدرجات الحرارة السابقة، وإذا جمعت مع تقنية التورخة (على سبيل المثال، استخدام اليورانيوم ـ الثوريوم)، فيمكن حساب توقيت تغير درجات الحرارة.

بلغ عمر ثلاثة صواعد في كهف سباناغل (Spannagel cave) الذي يقع فوق مستوى سطح البحر بـ 2500 متر في وادي توكس (Tux valley) في التيرول في النمسا، بالقرب من مجلد **هنترتوكس** (Hintertux glacier) حوالى 10000 عام[1991]. وقد أمكن بواسطتها قياس احترار العصور الوسطى والعصر الجليدي

1990 V. J. Polyak and Y. Amerson, «Late Holocene Climate and Cultural Changes in Southwestern United States,» *Science*, vol. 294 (2001), pp. 148-151.

1991 N. Vollweiler [et al.], «A Precisely Dated Climate Record for the Last 9 Kyr from Three High Alpine Stalagmites, Spannagel Cave, Austria,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), L20703, doi: 101029/2006GL027662.

الصغير. وقد وجد أن هناك فترات دافئة قبل 7500 ـ 5900 عام (الدرجة القصوى لمناخ الهولوسين)، وقبل 3800 ـ 3600 عام، وقبل 1200 ـ 700 عام (الاحترار الكوني)، وفترات باردة قبل 7900 ـ 7500، وقبل 5900 ـ 5000، و3500 ـ 3000 و600 ـ 150 عام (العصر الجليدي الصغير)، وخلال الاحترار الروماني (قبل 2250 ـ 1700 عام).

كانت بعض الممرات الأبية خالية من الجليد في الصيف والشتاء. وتزامنت ذروة الاحترار قبل 2200 عام مع عبور هنيبعل لجبال الأب عام 218 قبل الميلاد. وبيّنت دراسة للصواعد الطبقية أظهرت طبقات سنوية تعود إلى فترة 500 عام، في الصين، وإيطاليا، واسكوتلندا، في العصر الجليدي الصغير واحترار تال في النصف الشمالي للكرة الأرضية عند 0.65 درجة مئوية[1992]. من ناحية أخرى، لم تتغير بعض النوازل لعشرات آلاف السنين، ويبقى بإمكانها إعطاء سجل أطول من درجة الحرارة والاستجابات النباتية لتغير المناخ[1993].

يمكن لثقوب الحفر (Boreholes) العميقة في اليابسة أن تعطي معلومات كثيرة أيضاً. وليس فقط يمكننا رؤية الصخور تحت أرجلنا، بل نستطيع أيضاً أن نقيس انسياب الحرارة من عمق الأرض، وقياس وصول الحرارة خلال أزمنة دافئة نزولاً. ويمكن لقياس درجات حرارة مفصلة في الأمتار الأولى من الثقب أن تحصل على مؤشرات عن أزمنة باردة ودافئة. ومرة أخرى، إنها لا تعطي درجة حرارة دقيقة مثل القياسات المباشرة الأخرى أو التوقيت الدقيق لتغير المناخ.

جاء التقدم العظيم في فهم المناخات القديمة مع برنامج التثقيب في المحيط؛ فقد أعطت الثقوب العميقة في ترسبات وبازلت قاع المحيط معلومات أساسية في بناء نظرية الصفائح التكتونية. وأنتجت أيضاً معلومات إضافية للّمحات الأولى لنشاط ينابيع قاع البحار الحارة وأشكال الحياة الغريبة المتعلقة بها، ونظرة راجعة إلى مناخات عالمية مضت. وترسبات قاع المحيط هي الأخرى مادة جيدة للدراسة لتدرس إذ إن معدل تشكل الترسبات بطيء، وتعتريه

C. Smith [et al.], «Reconstructing Hemisphere-Scale Climates from Multiple Stalagmite (1992)
Records,» *International Journal of Climatology*, vol. 26 (2006), pp. 1417-1424.

J. A. Dorale [et al.], «Climate and Vegetation History of the Midcontinent from 75 to 25 (1993)
ka: A Speleotherm Record from Crevice Cave, Missouri, USA,» *Science,* vol. 282 (1998), pp. 1871-1874.

بعض الاضطرابات، ولا تتشكل الترسبات على المنحدرات، وليس لها نظام جحور حيوانات متعضية تدورها وترجعها، ولأن المتحجرات/ الهائمات والكامنة في الأسفل، محفوظة جيداً، ولأن هذه الكائنات، وبخاصة المنخربات حساسة جداً للحرارة، والضوء، والملوحة وعمق المياه، ولها أصداف، مكونة عادة من كربونات الكالسيوم، وبعضها حساس جداً حتى إذا تغيرت الحرارة بمعدل درجة مئوية واحدة، فإنها تتطور إلى نوع آخر أو تموت. وتغطي انفجارات بركانية كبيرة الأرض بطبقة من الرماد الذي يسقط على أحواض المحيط، ويشكل طبقات رقيقة تظهر في ترسبات قاع المحيط. ويمكن استعمال التركيب الكيميائي لطبقات الرماد هذه لتحديد خواص البركان المصدر، تماماً مثل تقنية تورخة الرماد من مواده المشعة.

كذلك، يمكن استعمال التقلبات غير المنتظمة للمجال المغنطيسي للأرض كتقنية تورخة بسيطة، كما يمكن استعمال حياة وموت الكائنات المجهرية العائمة، سريعة النشوء، والمتنوعة وقصيرة العمر لهذه الغاية.

ويمكن للغبار خارج الأرض (Extra terrestrial Dust) أن يبيّن متى كان هناك نشاط نيزكي وكويكبي متزايدين، كما يمكن لغبار الصحراء أن يبيّن زمن الرياح الشديدة.

تعطي المنخربات الأحفورية (Fossil Forminifera) صورة عن المناخ القديم، ويمكن استعمال كميات الأكسجين O^{16} و O^{18} الموجودة في الأصداف لحساب درجة حرارة مياه المحيط. ويمكن إدخال كل هذه المعلومات لإعطاء صورة كاملة عن حرارة البحر، والملوحة، والرياح، والنشاط خارج الأرض، والتيارات، والنشاط البركاني ونماذج البيئة المتغيرة ضمن فترات زمنية ضيقة جداً. على مر السنين ذابت كميات من الجبال الجليدية في شمال الأطلسي، وسقطت مواد مختلفة في ترسبات قاع البحر، وهذا يعطي معلومات عن تفكك صفائح الجليد خلال التجلد الأخير وبعده. ويمكن مكاملة هذه المعلومات مع معلومات مشابهة نحصل عليها من بحار وبحيرات أخرى لإعطاء لمحة عن تغيّر المناخ الإجمالي في تلك المنطقة من كوكب الأرض.

إن ما نراه من هذه الدراسات هو أن دورات المناخ كانت معنا زمناً طويلاً.

تستعمل معظم دراسات المقاييس الوكيلة أو غير المباشرة (Proxy) تنوعاً

من المقاييس التي تعطي صورة أكثر تجانساً وتوسعاً عن أحداث المناخ. على سبيل المثال، بيّنت الكائنات العائمة من الهائمات (Planktons)، ونظائر الأكسجين، والمواد الكيميائية العضوية، وطبقات الغبار أنه كان هناك ابتراد مقداره درجتين مئويتين لسطح بحر الأدرياتيك قبل 6000 عام، وابتراد آخر بدرجتين إلى ثلاث درجات قبل 3000 عام. واستمرت أحداث الابتراد هذه مئات السنين، وتزامنت مع أحداث ابتراد أخرى حصلت في بحر إيجه وغرينلاند (Aegean Sea and Greenland)[1994].

كانت نتائج ثقوب صفائح جليد غرينلاند والقطب الجنوبي ثورية، ودفعتنا قدماً في فهمنا لتاريخ الكوكب لبضع مئات آلاف السنين الماضية[1995][1996][1997][1998]. ويمكن لنظائر الأكسجين، والهيدروجين، والكربون، والأرغون، والهيليوم، والبريليوم، والكلور أن تعطي تاريخاً دقيقاً لدرجة الحرارة، والنشاط الشمسي، والغبار القادم من خارج الأرض، وتغير المناخ. ويمكن للغبار البركاني والحمض أن يعطيا، إضافةً إلى ذلك، طبقات زمنية في الجليد، ويمكن للنشاط البركاني وحمض النتريك أن يعطيا أيضاً مفاتيح عن انفجارات السوبرنوفات. ويعطي الغبار الأرضي ورذاذ البحر صورة عن الرياح. ويمكن استعمال فقاعات الهواء التي كانت محتجزةً في الثلج لتستقر فيما بعد في الجليد، لمعرفة كيمياء الهواء القديم. غير أنه، مع جميع هذه التقنيات هناك ترتيبات من الدقة، والتحديد والالتباس.

يحتوي لب الجليد على رماد بركاني يفيد في تحديد بركان معيّن وتأريخه. ولا يمكن الاستدلال على حساسية المناخ في مرحلة ما من سجل الحرارة وحده بدون الاستعانة ببقية العوامل والمؤشرات. ويمكن تحديد حساسيات

(1994) F. Sangiorgi [et al.], «Holocene Sea-Surface Temperature Variations in the Southern Adriatic Sea Inferred from a Multiproxy Approach,» *Journal of Quaternary Science*, vol. 18 (2003), pp. 723-732.

(1995) J. M. D. Barnola [et al.], «Vostok Ice Core Provides a 160,000-Year Record of Atmospheric CO_2,» *Nature*, vol. 329 (1987), pp. 408-414.

(1996) J. Chapellaz [et al.], «Atmospheric CH_4 Record Over the Last Climatic Cycles Revealed by the Vostok Ice Core,» *Nature*, vol. 345 (1990), pp. 127-131.

(1997) J. Jouzel [et al.], «Vostok Ice Core: A Continuous Isotopic Temperature Record Over the Last Climatic Cycle (160,000 Years),» *Nature,* vol. 329 (1987), pp. 403-407.

(1998) C. Lorius [et al.], «150,000-Year Climatic Record from Antarctica Ice,» *Nature*, vol. 316 (1985), pp. 591-595.

المناخ بعقلانية فقط إذا عُرِفَت بقية عوامل ومؤشرات تخزين الحرارة بدقة[1999]. ويمكن حساب طبقات سنوية لتساقط الثلج في لب الجليد بسهولة تماماً مثل حساب حلقات نمو الشجر، مما يسمح ببناء تسلسل تأريخي دقيق للأحداث البيئية التي وقعت في الماضي مثل الانفجارات البركانية والفيضانات وغيرها. إن بلورات ثلج الصيف كبيرة، وحموضتها عالية أكثر من ثلج الشتاء. وفي بعض اللب، يمكن تحديد مواسم هطول الثلج لأن رياح الربيع تهب حول مزيد من الغبار ورذاذ البحر الذي يستقر في الجليد. وبطريقة تحليل مكونات لب الجليد يمكن تحديد المواسم الممطرة، ومواسم تساقط الثلج الشديد، والمواسم الجافة، مع أزمان حصول العواصف الغبارية الكبيرة بسهولة.

كذلك يسجل لب الجليد النشاط البشري. فإن استعمال القنابل الذرية واختباراتها مسجل تسجيلاً جيداً، مثلما هو التناقص والتزايد في النشاط الإشعاعي الذي تتبعه اتفاقيات منع الاختبار الذري والانتشار النووي. . إلخ. وتعتبر حادثة «شرنوبيل» حدثاً إشعاعياً بارزاً في 1987 ـ 1988[2000]. ويظهر حرق الفحم والبترول تزايداً في أكسيد النيتروس (Nitrous Oxide) الجوي. كما يُسجَل التزايد في CO_2[2001] والميثان[2002]، غير أنه لا يمكن تحديد ما إذا كان هذا مصدره النشاط البشري أم لا. وكما قلنا في فصول أخرى من الكتاب، إن لـ CO_2 تنوعاً عظيماً من المصادر، وليس من الممكن أن تنسب زيادة الـ CO_2 إلى النشاط البشري فقط. كذلك هو الحال مع الميثان وللنترات وغيرهما. وإن للنيترات تراكيز عالية غير عادية وقصيرة العمر تجمعت قبل الثورة الصناعية، ربما بسبب انفجار نجمي فائق، وبدأت خلفية تراكيز النترات بالزيادة بعد الثورة الصناعية[2003] بسبب السماد الكيميائي واسع الانتشار. كان للكبريتات تراكيز

(1999) G. J. Boer, M. Stowasser and K. Hamilton, «Inferring Climate Sensitivity from Volcanic Events,» *Climate Dynamics*, vol. 28 (2007), pp. 481-502.

(2000) J. Dibb [et al.], «Beta Radiation from Snow,» *Nature*, vol. 344, no. 6270 (1990), p. 25.

(2001) C. K. Keeling [et al.], «Atmospheric Carbon Dioxide Variations at the South Pole,» *Tellus*, vol. 28 (1976), pp. 552-564.

(2002) D. M. Etheridge, G. I. Pearman and P. J. Fraser, «Changes in Trophospheric Methane between 1841 and 1978 from a High Accumulation Rate Antarctic Ice Core,» *Tellus*, vol. 44 (1992), pp. 282-294.

(2003) T. Machida [et al.], «Increase in Atmospheric Nitrous Oxide Concentrations during the Last 250 Years,» *Geophysical Research Letters,* vol. 22 (1995), pp. 2921-2924.

قصيرة العمر وعالية قبل الثورة الصناعية بسبب الانفجارات البركانية، ثم تناقصت بعد الثورة الصناعية. ومنذ إقرار ميثاق الهواء النظيف في تسعينيات القرن العشرين، استقرت محتويات النيترات والكبريتيك في الجليد القطبي.

كان هناك اقتراح من دراسة للب جليد فوستوك (Vostok) (القطب الجنوبي) بأن CO_2 أجبر على تغيرات مناخية خلال عصور جليدية ماضية. غير أنه تم تحدي ذلك بسبب الأخطاء الأساسية. وقد صححت هذه الأخطاء باستعمال نموذج (Model) يدمج تغيرات المناخ في مناطق المصدر نسبة إلى بخار الماء[2004]. وتبيّن قياسات CO_2، والميثان ودرجة الحرارة في لب الجليد نمطاً من المنحنيات منشاري الأسنان[2005]. بدا في مدى القياس، وكانت هناك علاقة شديدة بين درجة الحرارة والـ CO_2[2006]. وفي الوقت عينه ارتفعت درجة الحرارة، ثم انخفضت فجأةً، ولم تكن هناك «نقطة ذروة»، وبيّنت قياسات درجة الحرارة والـ CO_2 أن ارتفاع الحرارة توقف لسبب آخر غير الـ CO_2[2007]. إن تحليل آلاف الأمتار من لب الجليد كيميائياً عملية صعبة، ومكلفة، وبطيئة. وكان استعمال عيّنات مأخوذة من طبقات متفاوتة زمنياً (بمعدل 800 سنة) من زمن ترسب الثلج[2008]، قد أخطأت، كطريقة، في تحديد سمة اللب الحقيقية، لذلك نشأت قصة أخرى في ما بعد مع دراسات مفصلة عن لب الجليد. وتبيّن دراسات جديدة عالية الدقة خلال الـ 450000 عام الماضية للب فوستوك أن جميع الأزمنة الانتقالية من البرد إلى الدفء يتبع ارتفاعَ درجة الحرارة ارتفاعٌ في CO_2 بعد 800 عام[2009]، وذلك، لأن ارتفاع CO_2 في مناخات قديمة استجابة للاحترار، وليس سبباً له.

(2004) K. M. Cuffy and F. Vimeux, «Convariation of Carbon Dioxide and Temperature from the Vostok Ice Core after Deuterium-exess Correction,» *Nature*, vol. 412 (2001), pp. 523-527.

(2005) D. K. Dahl-Jensen [et al.], «Past Temperatures from the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 282 (1998), pp. 268-271.

(2006) M. Mudelsee, «Phase Relations among Atmosheric CO_2 Content, Temperature and Global Ice Volume over the Past 420 la,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 20 (2001), pp. 583-589.

(2007) C. Wunsch, «Greenland-Antarctic Phase Relations and Millennial Time -Scale Climate Fluctuations in the Greenland Ice-Cores,» *Quaternary Science Reviews*, vol. 22 (2003), pp. 1631-1646.

(2008) J. M. Barnola [et al.], «CO_2-Climate Relationships as Deduced from the Vostok Ice Core: A Re-examination on New Measurements and on a Re-evaluation of the Air Dating,» *Tellus*, B 43 (1991), pp. 83-90.

(2009) N. Caillion [et al.], «Timing of Atmospheric CO_2 and Antarctic Temperature Changes across Termination III,» *Science*, vol. 299 (2003), pp. 1728-1731.

لجميع القياسات العلمية حدودها، وكذلك هو حال قياسات لب الجليد. وإن أكثر المقاييس التوكيلية (Proxy) شيوعاً لدرجة الحرارة هو قياس نسبة الأكسجين 18 الثقيل (O^{18}) إلى الأكسجين 16 الخفيف (O^{16}) في هواء الجليد وفي الجليد نفسه. وتبيّن قياسات مفصلة أجريت في الجزء السفلي من لب جليد غرينلاند (GRIP) أن البصمة الكيميائية (Chemical Signature) للهواء المحبوس في الجليد تتأخر مدة 1000 ـ 4000 عام وراء البصمة الكيميائية للجليد الذي حَبسَ الهواء. ولا تتفق البصمة الكيميائية للب جليد غرينلاند الذي يزيد عمره على 100000 عام مع لب جليد «فوستوك»، وتظهر تغيرات مناخ سريعة جداً لا تصلح لمقارنات مفصلة(2010). وتبيّن أعمال أخرى مع لب (GRIP) أن قياسات الغاز في اللب الأقدم من 110000 عام لها حدودها(2011). وتحدث تغيرات كيميائية سريعة ضمن 20 سنتيمتراً في اللب. ولا تعكس هذه تغيرات المناخ السريعة، ولا يبدو أنها تتشكل نتيجة انتشار الغاز بعد خلط الهواء بالثلج أو بعد تكوّن اللب (Coring). وتضع هذه التغيرات قيوداً في تفسير قياس نظير الأكسجين في مدى صغير. وهذا قيد علمي أساسي: سلّم القياس.

لقد اضطربت الأجزاء الأقدم من لب جليد غرينلاند (أقدم من 110000 ـ 120000 عام) إذ «لف» الجليد الدبيب (Creep) بتغيير بالقرب من اتصاله بالصخور الأديمية. ويبيّن هذا أن الجليد بلاستيكي، وأن هناك مزلقة احتكاكية في الجليد الذي يطحن على اليابسة، وأن هذا اللف قد يصدر غازاً محبوساً في الجليد. وهناك مجال رئيسي للدراسة في علم الجيولوجيا يتعامل مع مضمونات موائع في الصخور(2012). وفي كل مرة تعاد فيها بلورة الصخور، تنكسر فيها تلك المضمونات، ويصدر المائع الغاز وتتشكل مضامين من موائع جديدة.

ويختلف تركيب هذه المضامين الثانوية الجديدة عن مضامين الموائع الأولية، ولا تنبئنا بشيء عن ماهية الموائع الماضية أو الغازات. وكذلك الحال

A. Fuchs and M. C. Leuenberger, «∂^{18} O Atmospheric Oxygen Measured on the GRIP (2010) Ice Core Document Stratigraphic Disturbances in the Lowest 10% of the Core,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (1996), pp. 1049-1052.

N. Caillon, «New Gas Measurements in the GRIP Ice Core: Rapid Interglacial Climate (2011) Variability Ruled Out and Proposal for a Reconstruction of the Last Interglacial in Greenland,» *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2003, 1993 Abstract PP32A-0276.

E. Roedder, *Fluid Inclusions* (Mineralogial Society of America, 1984). (2012)

مع الجليد، وهو صخر شائع[2013]. وفي كل مرة يعاد فيها تبلوره خلال التغير، تنكسر المضامين المائعة، وتعاد بلورة الجليد وتقيد مضامين الموائع الثانوية فيه. ويجب أخذ الحذر الشديد إن نحن أردنا تأويل المناخ القديم من هواء مقيد في الجليد.

من ناحية أخرى، إن لب الـ(GRIP) يبيّن لنا أن العصر ما بين الجليدي الأخير (قبل 130000 ـ 116000 عام) كان أدفأ بخمس درجات مئوية من الآن، وأن هناك احتراراً مفاجئاً حدث قبل 115000 عام[2014]، ولا يرى في لب جليد القطب الجنوبي. وإننا نرى مرة أخرى أن الاحترار الكوني ليس عالمياً، وأن سلّم القياسات المعتمد مهم. وإذا ادعينا أن احترار أواخر القرن العشرين لا سابق له فإن ذلك كان ضمن مدى 150 عاماً فقط، وإنه مسبوق خلال سلم قياس مداه 1000 عام، فقد كانت غرينلاند أدفأ بخمس درجات من الآن في احترار العصور الوسطى، وخلال مدى 120,000 عام، كانت غرينلاند أدفأ من الآن بخمس درجات، أي في العصر ما بين الجليدي الأخير.

مرة أخرى يبقى السؤال البديهي بدون جواب، : إذا كان إصدار الإنسان لـ CO_2 إلى الغلاف الجوي في العصر الحديث ينتج تغيراً مناخياً، فكيف يمكن تفسير احترارات ما قبل الثورة الصناعية السابقة. ألا يمكن لاحترار القرن العشرين الأخير أن تكون أصوله عائدة إلى العمليات نفسها التي أنتجت احترار العصور الوسطى، والاحترار الروماني، واحترارات ما بين جليدية عديدة أخرى؟

إن البصمات الكيميائية في لب الجليد ناعمة، ربما كانت كذلك نتيجة لانتشار الهواء والماء في الجليد[2015][2016][2017]، وربما تعلق هذا المقدار من

R. H. Goldstein, «Fluid Inclusions in Sedimentary and Diagenetic Systems,» *Lithos*, vol. 55 (2001), pp. 159-193. (2013)

North Greenland Ice Core Project Members, «High-Resolution Record of Northern Hemisphere Climate Extending into the Last Interglacial Period,» *Nature*, vol. 431 (2004), pp. 147-151. (2014)

J. F. Nye, «Diffusion of Isotopes in the Annual Layers of Ice Sheets,» *Journal of Glaciology,* vol. 44 (1998), pp. 467-468. (2015)

S. J. Johnsen [et al.], «Diffusion of Stable Isotopes in Polar Firn and Ice: The Isotopic Effect in Firn Diffusions,» in: T. Hondoh, ed., *Physics of Ice Core Records* (Hokkaido: Hokkaido University Press, 2000), pp. 121-140. (2016)

A. W. Rempel and J. S. Wettlaufer, «Isotopic Diffusion in Polycrystalline Ice,» *Journal of Glaciology*, vol. 49 (2003), pp. 397-406. (2017)

الانتشار بدرجة الحرارة ومعدل تراكم الثلج في الموقع. ويضع هذا الانتشار حداً لمقدار التفاصيل التي يمكن استنتاجها من النظر إلى البصمات الكيميائية في الجليد. وقد تمّ إجراء عدة تجارب لمحاولة فهم طول الانتشار الكبير[2018]. وكما هو الحال في كل العلوم، هناك تفسيرات أخرى. وإحداها هو أن الصقل الأشد مما نتوقعه خلال الـ 100,000 عام الماضية يمكن تفسيره من خلال حرارة أعلى للثلج وينتج فترة انتشار أطول[2019]. وقبل حوالى 12,000 ـ 10,000 عام، كانت درجة حرارة غرينلاند خمس درجات أدفأ من الآن، وإذا أعطى الدفء وليس الانتشار أطوال انتشار ناعم وأطول، لكانت غرينلاند أدفأ[2020]، وهذا يتوافق مع حسابات أخرى.

هناك أخطاء نظامية في دراسات لب الجليد، ويجب التعامل مع كثير من التقنيات المستعملة (على سبيل المثال، الهواء المُتَضَمن في الجليد) بحذر شديد[2021]. وإن هذه الأخطاء موجودة حتى أن لب جليد غرينلاند (GRIP) لا يمكن مقارنته بلب جليد آخر (GRIP2) خلال الـ 100,000 عام الماضية. ويسمح تصحيح عصور لب الجليد لتوازي ميزات مدارية للأرض لكل من الألباب لجليد (GRP) و(GRP2) أن يتقارنا. ويبقى السؤال التالي بدون جواب: ما هي الأخطاء الأخرى التي تحدث في لب الجليد ضمن مدى صغير أو في اللب الذي تشكل في أزمنة التراكم المنخفض للثلج؟

الأعاصير

لما كان تغير درجات حرارة سطح البحر أقل من تغير درجات حرارة سطح اليابسة من خلال الدورات الموسمية، فإن أي مكان على اليابسة تنفخ فيه الرياح من المحيط سيشهد مناخاً بحرياً (على سبيل المثال، شمال غرب المحيط الهادي، والمملكة المتحدة)، بينما تعطي الرياح المنفوخة من خلال

(2018) S. J. Johnsen and U. Andersen, «Isotopic Diffusion in Greenland Ice and Firn: Evidence from Crystal Boundary Diffusion,» *Eos Transactions, AGU Fall Meeting* (1997) 78:F7 Poster U21A-4.

(2019) B. M. Vinther, S. J. Johnsen and H. B Clausen, «Central Greenland Late Holocene Temperatures,» *EGU* (2005) Abstract, session CL21, Vienna, Austria.

(2020) S. J. Johnsen [et al.], «The GRIP Ice Core Isotopic Excess Diffusion Explained,» *Geophysical Research Abstracts,* vol. 7 (2005), p. 10540.

(2021) L. Hinnov, «Evidence for a Systematic Error in GRIP Ice-Flow Chronology,» *XVI INQUA Congress*, 2003, paper 87-14.

القارة فصول صيف لاهب، وفصول شتاء قارصة (على سبيل المثال، شمال شرق أميركا، ووسط شرق آسيا وشمالها). وفي الشتاء تُبرِّد الرياح القارية الغربية الباردة في فلوريدا تيار الخليج (Gulf Stream) بالتبخر، ونقل الحرارة. وتكسب معظم هذه الحرارة بالعواصف في الغلاف الجوي، وتنقل عبر شرق الولايات المتحدة وكندا، ملطّفة ما قد يكون مناخاً بارداً جداً. ويتجه تيار الخليج نحو الشمال الشرقي ليصبح ما يسمّى جرف شمال الأطلسي (North Atlantic Drift)، ونزولاً نحو التيار النرويجي. ويفقد معظم ما تبقى من الحرارة في البحار الشمالية بعد حدوث عواصف أطلسية كثيرة.

يساهم دوران الأرض والجبال في شمال أميركا[2022][2023] مساهمة أساسية في اختلافات درجة الحرارة عبر المحيط الأطلسي[2024][2025]، ويحدث الانحراف الجنوبي والشمالي عدم انتظام في الانسياب الغربي ـ الشرقي للهواء عبر شمال أميركا ونزولاً إلى الشرق، ويكون لانحرافات كهذه سلّم ضخم. وتحدث انحرافات جنوبية عبر وسط شمال أميركا وشرقها. وهذا يجلب هواء القطب الشمالي جنوباً وفصول الشتاء الباردة إلى الساحل الشرقي للولايات المتحدة الأميركية وكندا. وتحدث العودة الشمالية إلى الهواء عبر شرق المحيط الأطلسي وأوروبا الغربية، جالبةً الهواء «تحت الاستوائي» المعتدل شمالاً وفصول شتاء دافئة في الجزء الشرقي البعيد للمحيط الأطلسي. وتكسب المحيطات في مناطق قريبة من خط الاستواء إضافةً إلى ذلك، حرارة من الشمس وتفقد الحرارة بالتبخر، وينقل فائض الحرارة نحو القطب بتيارات المحيط ضمن دوران الغلاف الجوي[2026].

هنالك ثمة اقتراحات تقول إن درجة حرارة سطح البحر المتزايدة قد زادت

(2022) S. Nigam, I. M. Held and S. W. Lyons, «Linear Simulation of Stationary Eddies in a GCM: Part II: Mountain Model,» *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 45 (1988), pp. 1433-1452.

(2023) B. J. Hoskins and P. J. Valdes, «On the Existence of Storm Tracks,» *Journal of Atmospheric Sciences,* vol. 47 (1990), pp. 1854-1864.

(2024) N. -C. Lau, «The Observed Structure of Tropospheric Stationary Waves and the Local Balances of Vorticity and Heat,» *Journal of Atmospheric Sciences*, vol. 36 (1979), pp. 996-1016.

(2025) S. Manabe and R. J. Stouffer, «Two Stable Equilibria of a Coupled Ocean-Atmosphere Model,» *Journal of Climate,* vol. 1 (1988), pp. 841-866.

(2026) K. E. Trenberth and J. M. Caron, «Estimates of Meridional Atmosphere and Ocean Heat Transports,» *Journal of Climate*, vol. 14 (2001), pp. 3433-3443.

من تكرار الأعاصير، وبخاصة حول خليج المكسيك في جنوب الولايات المتحدة الأميركية[2027]. وينسب التزايد في درجة حرارة سطح البحر إلى الاحترار الكوني الناتج من إضافة CO_2 إلى الغلاف الجوي من النشاط البشري[2028]، وهذه فكرة خاطئة. وإذا أصبحت المحيطات أدفأ، فليس بالضرورة أن هناك مزيداً من الأعاصير. وإذا كان هناك مزيد من CO_2 في الغلاف الجوي، فهذا لا يعني بالضرورة أن مصدره الإنسان؛ فمن العوامل الأخرى الضمنية الفارق بين الطبقات العليا والسفلى للغلاف الجوي (رياح التجريد) والهواء الجاف. وهذه العوامل أكثر دقة من كون المحيط أدفأ.

إن النظرة القائلة إن عدد الأعاصير الاستوائية، وتكرارها، وفترة عصفها قد تزايد نتيجة للاحترار الكوني الحديث الذي يزيد من درجة حرارة سطح البحر[2029][2030]، هي نظرة معاكسة، ودراسات أخرى تبين أن الاحترار الكوني لم يؤد إلى تغيرات في عدد الأعاصير الاستوائية[2031][2032][2033]. تنتج الأعاصير الاستوائية، على الأقل في حوض الأطلسي، من تفاعلات معقدة لعدة عوامل، بما فيها الاستقرار الجوي، ودرجة حرارة سطح البحر وقوة الرياح العمودية[2034]. وقد بيّنت دراسة لنشاط الأعاصير العالمية أنه لم يكن هناك تغير بارز في نشاط الأعاصير خلال السنوات الـ20 الماضية، وأن تزايداً خفيفاً كان هناك في الأعاصير من فئة 4 إلى 5 في الفترات من 1986 ـ 1995 و1996 ـ

(2027) P. J. Webster [et al.], «Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment,» *Science,* vol. 309 (2005), pp. 1844-1846.

(2028) M. Mann and K. Emanual, «Atlantic Hurricane Trends Linked to Climate Change,» *EOS*, vol. 87 (2006), pp. 233-241.

(2029) K. Emanual, «Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones Over the Past 30 Years,» *Nature*, vol. 436 (2005), pp. 686-688.

(2030) P. J. Webster [et al.], «Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment,» *Science*, vol. 309 (2006), pp. 1844-1846.

(2031) P. J. Klotzbach, «Trends in Global Cyclone Activity Over the Last Twenty Years (1986-2005),» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), 010805, doi: 10.1029/2006GL025881.

(2032) R. A. Pielke, Jr., [et al.], «Reply to Hurricanes and Global Warming-Potential Linkages and Consequences,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 87 (2006), pp. 628-631.

(2033) C. D. Hoyos [et al.], «Deconvolution of the Factors Contributing to the Increase in Global Hurricane Intensity,» *Science,* vol. 312 (2006), pp. 94-97.

(2034) P. J. Klotzbach, «Trends in Global Tropical Cyclone Activity Over the Past Twenty Years (1986-2005),» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), L010805, doi: 101029/2006GL25757.

2005. ربما لا يتعلق هذا التغير بتغيرات حرارة سطح البحر، وقد يكون بسبب تطور التكنولوجيا الشهودية (Observational Technology). ويستنتج من هذا العمل وغيره من الأعمال[2035][2036]، أن هناك ترابطاً قليلاً بين درجات حرارة سطح البحر وتطور الأعاصير في حوض الأطلسي، وأن الرياح العمودية مركب أساسي جداً في تطور الأعاصير والحفاظ عليها. ويبدو أن الاحترار الكوني البشري إذا ساهم في نشاط الأعاصير المتزايد في حوض الأطلسي أو في مكان آخر في العالم، فلا يمكن قياسه.

كانت توقعات موسم الاعاصير عام 2007 ست عشرة عاصفة مسماة، وتسعة أعاصير، وخمسة أعاصير مكثفة، وفرصة احتمالها 74 في المئة لعاصفة تضرب الساحل الشرقي للولايات المتحدة الأميركية. وكانت هذه التوقعات تفوق المتوسط التاريخي. وقد ساق عدد من القصص الإخبارية أن الاحترار الكوني هو المهتم الرئيسي. وعندما انتهى موسم الأعاصير بحلول كانون الأول/ديسمبر 2007، كان هناك ستة أعاصير (المتوسط التاريخي) وإعصاران مكثفان (تحت المتوسط). ولم يضرب أيٌّ منها الولايات المتحدة الأميركية (تحت المتوسط). وكانت طاقة الأعاصير المتراكمة ثلث المتوقع وثلثي المتوسط التاريخي. وهكذا كان موسم الأعاصير عام 2007 مجرد فقاعة، وكانت كل توقعات الكوارث من الاحترار الكوني خاطئة.

وضعت بعدئذٍ توقعات غريبة من قبل مكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة خاصة بدرجة الحرارة عام 2007[2037]، وقال إعلان الحكومة الرسمي:

إن عام 2007 سيكون على الأغلب العام الأدفأ في السجل العالمي، محطماً السجل الحالي الموضوع عام 1998. هكذا يقول خبراء تغيّر المناخ في مكتب الأرصاد الجوية. ومن المتوقع أن تكون درجة الحرارة العالمية لعام 2007 0.54 درجة مئوية فوق المتوسط طويل الأمد (1961 ـ 1990) ومقدارها 14 درجة مئوية.

(2035) L. J. Shapiro and S. B. Goldenberg, «Atlantic Sea Temperatures and Tropical Cyclone Formation,» *Journal of Climate,* vol. 11 (1998), pp. 578-590.

(2036) P. J. Klotzbach and W. M. Gray, «Extended Range Forecast of Atlantic Seasonal Hurricane Activity and US Landfall Strike Probability for 2007,» (2006), <http://hurricane.atmos.colostate.edu/Forecasts/2006/dec2006.pdf>.

(2037) <http://www.metoffice.gov.uk/corporate/pressoffice/2007/pr20070104.html>.

كان هذا التوقع في الرابع من كانون الثاني/ يناير 2007. وتحدث الإعلام عن كارثة قادمة. وبيّنت قياسات فعلية لعام 2007 أنها كانت أحد أبرد السنين في القرن والأبرد منذ 1995.

كانت هناك أربعة أعاصير مدمرة جداً خلال فترة قصيرة في موسم أعاصير عام 2004 في شمال أميركا. وكان السؤال المطروح: هل كان هذا بسبب الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان؟ وبتحليل تاريخ الأعاصير، تبيّن أن نشاط الأعاصير الاستوائي العالمي، كما قيس في مؤشر طاقة الأعاصير المتراكم، قد تناقص ابتداء من عام 1990 إلى عام 2005[2038]، وقد حصل إعصار «كاترينا» عام 2005، وإعصار 2004 نتيجة تذبذبات لعقود متعددة في قوة نمط الأطلسي وقوة دوران تيارات المحيط الحرارية.

يعني هذا أن الاحترار الكوني لم يلعب أي دور في الأمر مهما كان. وإن زيادة، قد حصلت في عدد سكان الساحل، والاستثمار في الممتلكات على امتداد الساحل الأميركي، وأن الخراب الذي كانت ستسببه الأعاصير في العقود القادمة أثبت عكس ما هو متوقع.

تتساءل دراسات علمية أخرى إن كانت قاعدة بيانات الإعصار الاستوائي العالمي يعتمد عليها بما يكفي للتأكد من اتجاهات طويلة الأمد في توقع الإعصار، وفي تكرار حصول الأعاصير الاستوائية الشديدة[2039]. ويخالف هذا الحذر الصيغة القائلة بأن الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان يزيد من تكرار الأعاصير وقوتها. وإن إحدى المشكلات في العلوم هي تغير طرق القياس، وينتج من ذلك مقارنات قد تكون غير صالحة؛ فالطائرات كانت تجري قياسات للأعاصير فوق مساحة من بضع كيلومترات. وتجمع البيانات الآن من «قمر اصطناعي». ثابت الموقع يمكنه أن يعطي صوراً عالية التبيين، وصوراً فضائية لأعاصير استوائية، ونتائج شدة إعصار أكثر دقة. وتؤخذ بيانات الطائرات عادة بصورة منتظمة في قياسات المحيط الأطلسي وشمال غرب المحيط الهادي. وبيّنت جميع هذه القياسات أنه لم تكن هناك اتجاهات بارزة في نشاط الأعاصير

(2038) P. J. Klotzbach and W. M. Gray, «Causes of the Unusually Destructive 2004 Atlantic Basin Hurricane Season,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 87 (2006), pp. 1425-1333.

(2039) C. W. Landsea [et al.], «Can We Detect Trends in Extreme Tropical Cyclones?,» *Science*, vol. 313 (2006), pp. 452-454.

منذ 1960، ولم تتغير الأعاصير الاستوائية الشديدة ونشاط الأعاصير الاستوائي الكلي عالمياً من عام 1986 إلى عام 2005.

يبدو أن الاحترار الكوني يُخفِّض عدد الأعاصير في المحيط الأطلسي. وإذا احتر الكوكب فعلاً، فقد حسب أحد البحوث أنه مع نهاية القرن الحادي والعشرين، سينخفض عدد الأعاصير في المحيط الأطلسي إلى 18 في المئة، وسينخفض عدد الأعاصير التي تصل إلى الولايات المتحدة الأميركية وجيرانها بـ 30 في المئة، والعواصف الكبيرة (سرعة الرياح التي تزيد على 100 كيلومتر في الساعة) ستنخفض بـ 8 في المئة والعواصف الاستوائية (سرعة الرياح من 39 إلى 73 كيلومتراً في الساعة) ستنخفض بـ 27 في المئة[2040]. واقترح هذا البحث ارتفاعاً في عدد الأعاصير بين 1980 و2006، واستنتج في النهاية ما يلي بالحرف:

«إن نتائجنا لا تدعم فكرة الاتجاهات المتزايدة حول العواصف الاستوائية، أو تكرار الأعاصير التي تحركها زيادات في تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي».

أكد هذا البحث دراسات أخرى حلّلت قرناً من الزوابع العنيفة (Tornadoes)[2041]، وسجلات طويلة الأمد للأعاصير الموسمية الأطلسية[2042]، وإحصاءات حول موقع الأعاصير الأطلسية[2043]، وإحصاءات حول أحداث الطقس الشديدة[2044][2045] ونشاط العواصف، على امتداد الساحل الشرقي للولايات المتحدة الأمريكية[2046][2047].

(2040) T. R. Knutson [et al.], «Simulated Reduction in Atlantic Hurricane Frequency under Twenty-First-Century Warming Conditions,» *Nature Geoscience,* vol. 1 (2008), pp. 359-364.

(2041) H. E. Brooks and C. A. Sowell, «Normalized Damage from Major Tornadoes in the United States, 1890-1999,» *Weather and Forecasting*, vol. 16 (2001), pp. 168-176.

(2042) W. Gray and P. J. Klotzbach, «Extended Range Forecast of Atlantic Seasonal Hurricane Activity and U. S. Landfalling Strike Probability for 2004,» *Colorado State University* (December 2003).

(2043) J. B. Elsner, K. Liu and B. Kocher, «Spatial Variations in Major US Hurricane Activity: Statistics and a Physical Mechanism,» *Journal of Climate*, vol. 13 (2000), pp. 2293-2305.

(2044) S. A. Changnon and D. Changnon, «Long-Term Fluctuations in Hail Incidence in the United States,» *Journal of Climate*, vol. 13 (2000), pp. 658-664.

(2045) S. Changnon and D. Changnon, «Long-Term Fluctuations in Thunderstorm Activity in the United States,» *Climate Change*, vol. 50 (2001), pp. 489-503.

(2046) K. Zhang, B. C. Douglas and S. P. Leatherman, «Twentieth-Century Storm Activity along the U. S. East Oast,» *Journal of Climate*, vol. 13 (2000), pp. 1748-1761.

(2047) M. E. Hirsch, A. T. Degaetano and S. J. Colucci, «An East Coast Winter Storm Climatology,» *Journal of Climate,* vol. 14 (2001), pp. 882-899.

وتتعارض دراسة ICPP أيضاً مع دراسة سابقة[2048][2049][2050].

يتلخص المفهوم غير الاعتيادي للأعاصير في النصف الشمالي للكرة الأرضية بعدم وجود الكثير منها في القرن الحادي والعشرين، كما كان الأمر في القرن العشرين والتاسع عشر، على الرغم من أن عدد العواصف لم يتغير[2051]. وفي دراسة للأعاصير ابتدأت من عام 1851 إلى عام 2007، ظهر أن الأعاصير تحدث في دورات من 60 عاماً. واستغلت الفترة من 1851 فصاعداً الفرصة لدراسة دروتين كاملتين منها، ولم تجد الدراسة أية زيادة في نشاط الأعاصير متصلة باصدارات الإنسان «المتزايدة» للـ CO_2[2052]، كذلك استعملت المرجانيات من البحر الكاريبي كسجل بديل (Proxy) لقوة الرياح ودرجات حرارة سطح البحر منذ عام 1730[2053]. ولقد وجد أن الأعاصير الرئيسية قد قلّت من ستينيات القرن الثامن عشر، ووصلت إلى مستوى منخفض في سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين. وبدأ عدد الأعاصير بالتزايد مرة أخرى منذ ذلك الوقت في مواسم أعاصير نشيطة جداً، ورغم أنه كان معروفاً تمام المعرفة أن تكرار الأعاصير الاستوائية قد تضاعف (تقريباً) عالمياً، منذ سبعينيات القرن العشرين[2054]، غير أن تكرار الأعاصير وعددها بقي طبيعياً في سياق القرون الثلاث الماضية.

كان إعصار كاترينا في آب/أغسطس 2005 مخرباً لأن نيو أورليانز (New Orleans) كانت تغرق بسبب ترصيص (Compaction) ترسبات نهر الميسيسبي،

(2048) K. A. Emanuel, «Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones Over the Past 30 Years,» *Nature*, vol. 436 (2005), pp. 686-688.

(2049) P. J. Webster [et al.], «Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment,» *Science*, vol. 309 (2005), pp. 1844-1846.

(2050) M. Mann and K. Emanuel, «Atlantic Hurricane Trends Linked to Climate Change,» *EOS*, vol. 87 (2006), pp. 233-241.

(2051) L. Bengtsson [et al.], «How May Tropical Cyclones Change in a Warmer Climate?,» *Tellus*, A 59 (2007), pp. 539-561.

(2052) P. Chylek and G. Lesins, «Multi-Decadal Variability in Atlantic Hurricane Activity 1851-2007,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 113 (2008): doi 10.1029/2008JD010036.

(2053) J. Nyberg, A. Winter and B. A. Malmgren, «Reconstruction of Major Hurricane Activity,» *EOS*, vol. 86 (2005), p. 52.

(2054) P. J. Webster [et al.], «Changes in Tropical Cyclone Number, Duration and Intensity in a Warming Environment,» *Science,* vol. 309 (2005), pp. 1844-1846.

واستخراج المياه الجوفية والبترول[2055]. وكانت نيو أورليانز تغرق فعلاً، بسرعة متر واحد لكل ثلاث سنوات قبل مجيء كاترينا[2056]. فكانت تحت مستوى نهر الميسيسبي. وقد تفاقم هذا الغرق واستفحل بثقل الأبنية، والسير (traffic)، واستخراج المياه الجوفية، واستخراج النفط من خليج تكساس، وقرب المدينة من نهر رئيسي.

إن الأخطار العادية للأعاصير والزوابع مبالغ فيها، لأن الأغنياء في دول مثل الولايات المتحدة الأميركية يسعون إلى مناطق غالية ذات واجهات مائية، أو مناخات دافئة للعيش واللعب. وتبنى البيوت الثمينة تحت مستوى سطح البحر، وليس هناك استعداد للأعاصير التي لا مفر منها، والخراب مكلف أكثر[2057].

لم تتغير العواصف، وإنما الذي تغير هو أننا نحن البشر هاجرنا إلى السواحل، ونما عدد السكان هناك، وشيدنا منشآت مكلفة في طريق العواصف. وليس هناك علاقة بين وقوع الأعاصير أو شدّتها والتركيز الجوي للـ CO_2. غير أن دَفعات التأمين تزايدت بشدة لأن الوفرة المتزايدة سمحت للأميركيين بالهجرة إلى ولاياتهم الجنوبية الشرقية الأدفأ.

ويبدو أن الاقتراحات التي تقول بأن الاحترار الكوني أنتج عدداً متزايداً من الأعاصير محصورة بالولايات المتحدة الأميركية أساساً. ويبدو، إضافةً إلى ذلك، أن هذه الأعاصير تحدث ضمن نماذج دورية ليس لها علاقة باتجاهات الاحترار أو الابتراد العالمي. ويبدو أن مناطق أخرى معرضة للأعاصير لم تحظ بحملات إعلامية تحذيرية (على سبيل المثال، كوينزلاند وأستراليا)، على الرغم من وجود تاريخ طويل لها حافل بالأعاصير[2058].

تبيّن الأعاصير في الهند تاريخاً مشابهاً[2059]؛ فقد ضرب الهند أكبر عدد

(2055) J. P. Ericson [et al.], «Effective Sea-Level Rise in Deltas: Causes of Change and Human Dimension Impacts,» *Global and Planetary Change*, vol. 50 (2006), pp. 63-82.

(2056) T. H. Dixon [et al.], «Space Geodesy: Subsidence and Flooding in New Orleans,» *Nature*, vol. 441 (2006), pp. 587-588.

(2057) K. A. Emanuel, «Increasing Destructiveness of Tropical Cyclones Over the Past 30 Years,» *Nature*, vol. 436 (2005), pp. 686-688.

(2058) J. Nott and M. Hayne, «High Frequency of Super-Cyclones along the Great Barrier Reef over the Past 5,000 Years,» *Nature,* vol. 413 (2001), pp. 508-512.

(2059) K. S. Valdiya, *Coping with Natural Hazards: Indian Context* (Hyderabad: Orient Longman, 2005).

من الأعاصير (10) خلال الـ 115 عاماً الماضية، في أعوام 1893، و1926، و1930. و1930. وخلال العشرين سنة الماضية، كان أكبر عدد من الزوابع قد ضرب السواحل الهندية (6) في عامي 1992 و1998. وسجل أعلى معدل لهطول المطر في الهند عام 1917 (1457.3 سنتيمتراً) وسجل آخر 913 سنتيمتراً عام 1918. وخلال السنوات الـ 20 الماضية، كان أعلى معدل لهطول المطر عام 1988 (1288 (1288 سنتيمتراً) والأدنى كان عام 2000 (939 سنتيمتراً). استعمل هطول المطر الشديد في «بومباي» في 27 تموز/يوليو 2005 كدليل على تغير المناخ، غير أنه خلال فترة الـ 24 ساعة نفسها، وصل هطول المطر إلى المناطق القريبة من كولابا (Colaba) (7.3 سنتيمترات). وسانتا كروز (94.4 سنتيمتراً). ويبدو أن هناك دلائل قليلة تقول بأن الاحترار الكوني له أثر في تاريخ الأعاصير في الهند.

إن للأعاصير خدعاً قليلة تخفيها. وتزيد الأعاصير الاستوائية التآكل (Erosion) على اليابسة. وتنقل المادة المتآكلة تحت أنظمة الأنهار إلى المحيطات، وتنقل أكبر نسبة من الكربونات تحت أنظمة الأنهار إلى المحيطات خلال الأعاصير الاستوائية. ويلطف نقل الكربونات من اليابسة إلى المحيطات بتكرار الأعاصير الاستوائية وكثافتها ومدتها[2060]، ولا تَظهر إضافة الكربونات هذه إلى المحيطات في أي من نماذج IPCC.

ثاني أكسيد الكربون

يضيف ثاني أكسيد الكربون فوراناً إلى المشروبات غير المسكرة، والثقوب في الخبز، والجليد الجاف في المُبرِّد، والفقاعات في البيرة والخمور الفوّارة، والغاز في مطفئات النار. وهو لا يشكل ضباباً دخانياً أو ضمخاناً (Smog) ملوثاً، ولا مطراً حمضياً. كما إن ثاني أكسيد الكربون أساس غذائي للنبات، ومن دون ثاني أكسيد الكربون، لن تكون هناك حياة على الأرض.

دورة الكربون العالمية

إن الكربون مادة أساسية للحياة أكثر من الجنس. وستسمعها هنا أولاً! إن ثاني أكسيد الكربون غاز لا لون له ولا رائحة وغير سام. وإنه غذاء أساسي

R. G. Hilton [et al.], «Tropical-Cyclone-Driven Erosion of the Terrestrial Biosphere from (2060) Mountains,» *Nature Geosciene*, vol. 1 (2008), pp. 759-762.

للنبات، ويحرك سلسلة الغذاء برمّتها. وكل الحياة مبنية على الكربون وتحتوي عليه. وكل خلية في كل كائن حي على الأرض مبنية على الكربون. وتزيل البكتريا والطحالب والنباتات CO_2 من الهواء والمياه وتخزنه في أنسجتها. ومع بخار الماء، يبقي CO_2 كوكبنا دافئاً وكأنه ليس مغطى بالجليد، وحار جداً أو مُجرَّد من المياه السائلة. وإذا لم تكن هناك آلية لإعادة دورة الكربون في الهواء والماء، فإن هذه الخزانات (Reservoirs) كانت ستستنزف منذ مدة طويلة.

تذبذبت مستويات CO_2 باستمرار خلال تاريخ الكوكب. ومرت الحياة باتساع كبير وتنوع خلال فترات من الـ تركيز CO_2 العالي في الهواء، ولم تكن حياة النبات مفعمة بالطاقة والعطاء مثل تلك في فترات من CO_2 المنخفض، كما هي الحال اليوم. ولم يكن محتوى CO_2 منخفضاً مثل انخفاضه اليوم، وتعاني أنظمة البيئة بسبب ذلك.،وكان محتوى CO_2 في الهواء في التاريخ المبكر للأرض عشرات أو مئات أضعاف مستواه الآن. هذا وقد خزن CO_2 كمركبات كربونية في الصخور، والنفط، والغاز، والفحم وصخور الكربونات خلال الزمن.

إننا نكون كما نأكل، وبغضّ النظر عمّا نأكل، فإن مصدر الكربون مستمد من النبات. فمن أين حصلت النباتات على الكربون؟ إنما حصلت عليه من CO_2 الغلاف الجوي مباشرةً أو من الماء. يذيب الماء الـ CO_2 المستمد من الغلاف الجوي. وتستعمل النباتات ضوء الشمس، واليخضور (الكلوروفيل) وCO_2؛ هذه هي العمليات الأساسية للتركيب الضوئي. ونتناول نحن البشر مركبات الكربون ونطلقها، وتستعمل جميعها في إبقاء جسم الإنسان حياً. لقد ازدهر الكوكب في أزمنة كان فيها CO_2 أعلى بكثير من اليوم، فإن محتوى CO_2 في الغلاف الجوي الآن قليل نسبياً. تنمو المحاصيل التجارية في بيوت زجاجية أو بلاستيكية تحتوي على تركيز من CO_2 يعادل ثلاثة أضعاف تركيزه في الغلاف الجوي الحالي لتسريع نمو النبات. وإن المركبات الأكثر شيوعاً في النظام الشمسي هي مركبات الكربون، وتبلغ نحو 10 ملايين مركب مختلف معروف. وإن طلب تخفيض أثر الكربون أمر أبله. والإشارة إلى «تلوث الكربون» تلفيق سياسي غير علمي، وإن إرهاق العنصر الأساسي للحياة والتحكم به إدارة مصغرة للحرية الإنسانية.

يُعدّ ثاني أكسيد الكربون من الغازات الأثيرية في الغلاف الجوي للأرض. وإن تركيزه الحالي هو 385 ppmv (جزء من المليون حجم) أو 582 ppm (جزء

من المليون كتلة). ولقد قاست محطة قياس CO_2 في ماونا (Mauna Loa) لُوا (هاواي) تزايداً في تركيز CO_2 من 325 ppmv (1970) إلى 380 ppmv في بداية القرن الحادي والعشرين. وكما هو الحال مع جميع العلوم، ولاسيما تلك القيمة المفترضة لما قبل الثورة الصناعية وهي 280 ppmv والمستعملة من قبل IPCC، فإن طرق قياس CO_2، وتخفيض البيانات المقاسة من هاواي هي موضع تساؤل. لقد سُجِّل تغير موسمي صغير، ناتج من استهلاك CO_2 من نباتات وحيوانات في النصف الشمالي للكرة الأرضية في الصيف، وإصدار CO_2 في الشتاء. وفي المناطق المدينية، يكون CO_2 بشكل عام أعلى، ويمكن للـ CO_2 الداخلي أن يكون أكثر من 3000 ppmv.

باستعمال الكتلة الكلية للغلاف الجوي[2061]، يقدر مجموع مقدار الـ CO_2 في الغلاف الجوي بنحو 3000 مليار طن[2062]، معادل لـ 800 مليار طن من الكربون. وإن الغلاف الجوي أحد الخزانات الصغيرة للـ CO_2 على الكوكب. بينما تحوي محيطات العالم نحو 39,000 مليار طن من الكربون؛ ويحوي النبات والتربة والدبال 2000 مليار طن من الكربون، وتحوي الصخور الكربونية مثل حجر الكلس على 65,000,000 مليار طن من الكربون[2063]. وهناك كربونات أكثر في التربة من المجموع الكلي للكربون في الغلاف الجوي والمادة الحية[2064]. وإن تربة القطب الشمالي بخاصة تحوي كمية كبيرة من الكربون[2065]. هذا ويحوي الغلاف الجوي على 0,001 في المئة فقط من مجموع الكربون الموجود في نظام القشرة العلوي + الغلاف الجوي + المحيط. وربما كان هذا الرقم تقديراً بخساً.

هناك مقدار غير معروف، ولكن مقداراً كبيراً من الكربون موجود بشكل

(2061) K. E. Trenberth, J. R. Christy and J. G. Olson, «Global Atmospheric Mass, Surface Pressure, and Water Vapour Variations,» *Journal of Geophysical Research*, 93D (1988), p. 10925.

(2062) الغلاف الجوي 5.14×10^{15} طناً، وبالتالي فإن كتلة CO_2 3×10^{12} ~ طن.

(2063) E. H. Oelkers and D. R. Cole, «Carbon Dioxide Sequestration: A Solution to a Global Problem,» *Elements*, vol. 4 (2008), pp. 305-310.

(2064) N. H. Batjes, «Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World,» *European Journal of Soil Science*, vol. 47 (1996), pp. 151-163.

(2065) C. -L. Ping [et al.], «High Stocks of Soil Organic Carbon in the North American Arctic Region,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 615-619.

مركبات مؤسسة على الكربون كما في الصخور الرسوبية، كالطفل الصفحي الأسود، والكربون في الوقود الأحفوري المعروف وغير الاقتصادي مثل الليجنيت، والفحم الأسود، والطفل الصفحي النفطي، والنفط، والغاز، ومثل حبوب الكربونات في الصخور الرسوبية، ومثل تبدل منتجات الكربونات للصخور البركانية، وتبدل منتجات الكربون المتعلقة بتفاعل الموائع الحارة مع الصخور، وغاز CO_2 الموجودة في الدقائق المعدنية.

تختص الأرقام المستخدمة هنا مع القشرة العلوية للأرض فقط وليس مع المصدر النهائي لـ CO_2، ومع القشرة الدنيا والجبة (Mantle). ولقد فرّغت الجبّة والقشرة الدنيا للأرض من CO_2 بعد شحنة في الغلاف الجوي منذ بداية الزمن عبر البراكين، ولا تزال هذه العملية تحدث. ويفوق الـ CO_2 المخزون كمركبات كربونية عميقاً في الأرض، كل الخزانات الموجودة على السطح[2066].

هنالك مصادر خفية لـ CO_2 والميثان، وهي موجودة في الموائع المضمنة في المعادن. وتحوي جميع المعادن مضامين من الجوامد والسوائل والغازات. والجوامد هي الأملاح عادةً، والسواتل هي مياه مالحة، وأقل شيوعاً منها CO_2 المسال، وإن الغازات الشائعة هي CO_2 والميثان[2067]. وبعض الصخور غنية بموائع مضمّنة مخفية فيها مثل عروق الكوارتز في الصدوع أو الفوالق. وإن سبب كون الكوارتز المعدني لبني اللون يعود إلى عدد كبير من الموائع المتضمنة فيه. وكلما حدث زلزال، تحرك نطاق الصدع وانفتحت مضامين الموائع في الكوارتز[2068]، فيصدر منه (الكوارتز) مياه مالحة، وCO_2، وميثان، وتعاد بلورة الكوارتز[2069]. وتصدر كثير من نطاقات الصدع بعد الزلازل مياهاً دافئة، وينفذ الميثان وCO_2 من هذه الصدوع إلى الغلاف الجوي[2070]. وإذا

(2066) H. D. Holland, *The Chemistry of the Atmosphere and Oceans* (New York: Wiley, 1978).

(2067) T. J. Shepherd, A. H. Rankin and D. H. M. Alderton, *A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies* (Glasgow: Blackie; New York: Distributed in the USA by Chapman and Hall, 1985).

(2068) J. G. Ramsay, «The Crack-Seal Mechanism of Rock Deformation,» *Nature*, vol. 284 (1980), pp. 135-139.

(2069) R. H. Sibson, J. M. M. Moore and A. H. Rankin, «Seismic Pumping-a Hydrothermal Fluid Transport Mechanism,» *Journal of the Geological Society of London*, vol. 131 (1975), pp. 653-659.

(2070) R. H. Sibson, «Brecciation Processes in Fault Zone: Inferences from Earthquake Rupturing,» *Pure and Applied Geophyiscs,* vol. 124 (1986), pp. 159-175.

اعتبرنا أن هناك أكثرمن 10,000 زلزال في كل عام[2071]، فإنه من المفاجئ حقاً أن نعلم أن IPCC لا تعتبر هذا مصدراً مهماً للـ CO_2.

يقدر أن الغلاف الجوي يتبادل في كل عام 90 مليار طن من الكربون مع سطح المحيط، و110 مليار طن مع النباتات، مظهراً أن فترة التواجد الزمني (Risidence Time) للـ CO_2 في الغلاف الجوي أقل من أربع سنوات[2072]. ويذكر أن ربع انبعاثات الإنسان من أل CO_2 مصادر طبيعية في التربة كل عام[2073]. ويصدر الكربون الأرضي من أصل بيولوجي في المياه العذبة كميات كبيرة من CO_2 إلى الغلاف الجوي[2074]. وهذا يعني أن العمليات الجيولوجية الطبيعية في دورة الكربون سريعة على نحو غير عادي. ويقدر أن نصف إصدارات الإنسان للـ CO_2 على الأقل محبوسة في المحيطات والتربة. وتنتج البراكين CO_2 أكثر من سيارات العالم والصناعات مجتمعة، وتنتج الحيوانات خمسة وعشرين ضعفاً من الـ CO_2 مقارنة بما تصدره السيارات والصناعة.

إن مناطق الخث الاستوائية هي أحد أكبر مدخرات سطح الأرض للكربون العضوي[2075]. ويمكن أن تصل إلى 20 متراً في سماكتها، وقد جعلها الصرف ومسح الغابات عرضة للنار[2076]. وقد أصدرت النيران التي انتشرت في مناطق الخث في غابات إندونيسيا خلال حدث إل نينو 1997 ـ 1998 0.81 ـ 2.57 مليار طن من الكربون إلى الغلاف الجوي. وهذا يعادل 13 ـ 40 في المئة من المتوسط السنوي لإصدار الكربون من حرق الوقود الأحفوري (البترول والفحم الحجري)[2077] وبيّنت

(2071) مركز معلومات الزلازل الوطني للمسح الجيولوجي الأميركي: <http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html>.

(2072) R. A. Houghton, «Balancing the Global Carbon Budget,» *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 35 (2007), pp. 313-347.

(2073) R. Lal, «Global Potential of Global Carbon Sequestration to Mitigate the Greenhouse Effect,» *Critical Reviews in Plant Science,* vol. 22 (2003), pp. 151-184.

(2074) T. J. Battin [et al.], «Biophysical Controls on Organic Carbon 1 Fluxes in Fluvial Networks,» *Nature Geoscience*, vol. 1 (2008), pp. 95-100.

(2075) A. K. W. Sorensen, «Indonesian Peat Swamp Forests and their Role as a Carbon Sink,» *Chemosphere*, vol. 27 (1993), pp. 2065-1082.

(2076) R. Siegert [et al.], «Increased Fire Impacts in Logged Over Forests During El Niño Driven Fires,» *Nature*, vol. 414 (2001), pp. 437-440.

(2077) S. E. Page [et al.], «The Amount of Carbon Released from Peat and Forest Fires in Indonesia in 1997,» *Nature,* vol. 420 (2002), pp. 61-65.

دراسات الأقمار الاصطناعية أن مناطق شجيرات البحر المتوسط حساسة جداً للـ CO_2 المتزايد في احترار أواخر القرن العشرين[2078]. ويعطي الـ CO_2 المرتفع حماية من الجفاف بزيادة فاعلية النبات في استعمال المياه[2079]. وأدى ذلك مع ازدياد هطول الأمطار، إلى زيادة في الغطاء النباتي خلال العقود الماضية.

إن للكربون نظيرين ثابتان هما، الكربون 12 (C^{12}) والكربون 13 (C^{13}). وهناك تفضيل نباتي للكربون 12 خلال عملية التركيب الضوئي، ولذلك فإن البكتريا، والنبات، والفحم كلها غنية بالكربونات 12 مقارنة بالكربون 13. ويغير إصدار CO_2 في الغلاف الجوي لدى حرق الفحم والهيدروكربونات، تحلّل النبات والفلاحة ونسبة الكربون 12 إلى الكربون 13 في الغلاف الجوي. وكذلك يفعل إصدار الميثان من المستنقعات، والبكتريا في أحشاء الحيوانات وارتشاح (Leakage) الميثان من الصخور. وإذا كانت لدينا فكرة عن نسبة الكربون 12 إلى الكربون 13 قبل التصنيع وخلاله وبعده، فيمكننا أن نحسب كم من CO_2 الصادر نحو الغلاف الجوي كان مصدره النشاط البشري. لقد كانت هنالك زيادة متواترة في نسبة الكربون 12 إلى الكربون 13 في الغلاف الجوي الحديث، مبيّنة أن المساهمة البيولوجية للكربونات في الغلاف الجوي تزداد. ويمكن أن يكون ذلك من التنوع الكبير في المصادر، بما فيها حرق الوقود الأحفوري.

يُستمد النظير الفلكي الكوزموجيني (Cosmogenic) للكربون 14 من القصف الكوني للنيتروجين في الغلاف الجوي العلوي، ومن القنابل النووية التي تفجر في الفضاء. ولقد تم اختبار 2200 جهاز نووي على الأرض منذ عام 1945. وتنفث الشمس النشيطة في الغلاف الجوي العلوي الإشعاع الكوني، وتنتج كمية أقل من الكربون 14. وتتذبذب كمية الكربون 14 في الغلاف الجوي نتيجة للنشاط الشمسي. ولما كان للكربون 14 عمر نصف فيزيائي قصير[2080]، فلا يحفظ الفحم الذي يتعدى عمره مئات الملايين من السنين منه أي شيء. وينتج حرق الفحم CO_2 غني بالكربون 12 وليس بالكربون 14. وتتناقص نسبة

(2078) C. P. Osborne [et al.], «Modelling the Recent Historical Impacts of Atmospheric CO_2 and Climate Change on Mediterranean Vegetation,» *Global Change Biology*, vol. 6 (2000), pp. 445-458.

(2079) C. P. Osborne and F. I. Woodward, «Biological Mechanisms Underlying Recent Iincreases in the NDVI of Mediterranean Shrublands,» *International Journal of Remote Sensing*, vol. 22 (2001), pp. 1895-1907.

(2080) 5,730 سنة.

الكربونات 14 من الكربونات الكلي في الغلاف الجوي، مما يدل على أن هناك مساهمة بيولوجية متزايدة من الـ CO_2 في الغلاف الجوي. وتقول لنا كيمياء النظائر: إن النشاط البشري مثل إزالة الغابات (Deforestation)، وحرق الفحم، والحيوانات، والمحاصيل يضيف CO_2 إلى الغلاف الجوي. كما يدخل الكربون البيولوجي إلى الغلاف الجوي مع تسرب الميثان من ترسبات الرف القاري، وطبقات الفحم، وتسرب الغاز، وهذا يعطي علامة النظير نفسه مثل CO_2 المستمد من حرق الفحم والنفط.

نستطيع قياس مقدار الـ CO_2 المضاف إلى الغلاف الجوي بقياس مقدار الوقود الأحفوري المحترق[2081]. ويصدر معظم CO_2 في النصف الشمالي للكرة الأرضية لأن عدد سكانه أكبر وصناعته أكثر[2082]، على الرغم من أن حساب مقدار المواد المحترقة في العالم الثالث عسير. وبمجرد ما يحترق الوقود الأحفوري، يدخل CO_2 الغلاف الجوي[2083]، ويذوب بعدها في المحيطات[2084][2085][2086]. وإن محتوى نظير الكربونات في المرجانيات[2087]، وحلقات نمو الأشجار، ولب الجليد[2088] مستقل عن المجموع الكلي للـ CO_2 في الغلاف الجوي. وإذا أحرقنا نحن البشر وقوداً أحفورياً أو كتلاً حيوية

(2081) M. R. Raupach [et al.], «Global and Regional Drivers of Accelerating CO_2 Emissions,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104 (2007), pp. 10288-10293.

(2082) G. Marland and T. Boden, «The Magnitude and Distribution of Fossil Fuel Related Carbon Releases,» in: M. Heimann, ed., *The Global Carbon Cycle* (Berlin; New York: Springer Verlag, 1993), pp. 117-138.

(2083) C. D. Keeling, «Global Observations of Atmospheric CO_2,» in: M. Heimann, ed., *The Global Carbon Cycle* (Berlin; New York: Springer Verlag, 1993), pp. 1-31.

(2084) P. D Quay, B. Tilbrook and C. S.Wong, «Oceanic Uptake of Fossil Fuel CO_2: Carbon-13 Evidence,» *Science*, vol. 256 (1992), pp. 74-79.

(2085) A. L. King and W. R. Howard, «Planktonic Foraminiferal ∂C^{13} Records from Southern Ocean Sediment Traps: New Estimates of the Oceanic Suess Effect,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 18 (2004), GB2007.

(2086) P. Quay [et al.], «Anthropogenic CO_2 Accumulation Rates in the North Atlantic Ocean from Changes in the $^{13}C/^{12}C$ of Dissolved Inorganic Carbon,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 21 (2007), GB1009.

(2087) E. R. M. Druffel, «Geochemistry of Corals: Proxies of Past Ocean Chemistry, Ocean Circulation, and Climate,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 94 (1997), pp. 8354-8361.

(2088) R. J. Francey [et al.], «A 1000 Year High Precision Record of $\partial^{13}C$ in Atmospheric CO_2,» *Tellus*, B 51 (1999), pp. 170-193.

(Biomass)، فيجب أن يتناقص الأكسجين الجوي. وتبين نسبة الأكسجين/النيتروجين أن هذه هي الحال[2089] وهي ليست متشابهة معحالة تفريغ الـ CO_2 من مصادر المحيطات أو من القشرة الأرضية.

كلمة تحذير: إننا لا نعرف ما هو معدل تفريغ الغاز من القشرة، إذ هو يتغير خلال الزمن، وإننا نعيش الآن فترة سكون بركاني. فإذا كانت الحال كذلك، فإن النصف الشمالي للكرة الأرضية المكتظ أكثر بالسكان والصناعة يصدر CO_2 أكثر من النصف الجنوبي. وهذا تماماً ما تمّ قياسه. ومع ذلك، فإن عدة خطوط من الدلائل تشير إلى أن «بعض» الزيادة في CO_2 الجوي المقاس خلال الـ 150 عاماً الماضية كان مصدره بشريّ المصدر.

قياس CO_2

إن قياس الـ CO_2 في الغلاف الجوي تكتنفه صعوبة. وهناك سجل تأريخية لـ 180 عاماً من قياس CO_2 الجوي بالطريقة نفسها. ولقد قيس بدقة 1 ـ 3 في المئة ابتداء من عام 1812حتى عام 1961 بطريقة كيميائية[2090]. وكان هناك أكثر من 90000 قياس للـCO_2 الجوي بين عامي 1812 و1961 بطريقة بتنكوفر (Pettenkofer). بيّنت هذا القياسات ذروات من الـ CO_2 الجوي في الأعوام 1825، و1857 و1942. وفي عام 1942، كان محتوى CO_2 الجوي (400 ppmv) أعلى من الآن[2091]. ويبيّن رسم للـ CO_2 المقاس بهذه الطرائق أن معظم القرن التاسع عشر ومن عام 1935 إلى 1950، كان الـ CO_2 الجوي أعلى من الآن، وتغير تغيراً شديداً. وهناك تغيرات كثيرة في مستوى وتركيز CO_2. ويمكن لتجربة بسيطة داخلية أن تبيّن أنه يمكن للـ CO_2 أن يتغير خلال أسبوع بـ75ppmv، وإن محتوى CO_2 متغير تماماً كما هو متوقع، وإن منحنى CO_2 يقرع جرس الإنذار.

في عام 1959 تغيرت طريقة القياس إلى تقنية مطياف الأشعة تحت الحمراء، بالتزامن مع تأسيس محطة «ماونا لوا» (Mauna Loa, Hawai)

(2089) E. F. Keeling, S. C. Piper and M. Heimann, «Global and Hemispheric Sinks Deduced from Changes in Atmospheric O_2 Concentration,» *Nature*, vol. 381 (1996), pp. 218-221.

(2090) طريقة بتنكوفر (Pettenkofer method).

(2091) E. Beck, «180 Years of Atmospheric CO_2 Gas Analysis by Chemical Methods,» *Energy and Environment,* vol. 18 (2007), pp. 259-282.

(هاواي)، فتحت مقارنة القياسات بعيّنات ضابطة غازية. ومقارنة بطريقة بتنكوفر، فإن مطياف الأشعة تحت الحمراء بسيط، ورخيص وسريع. ولكن، لم تُعتمد تقنية الأشعة تحت الحمراء أو يصادق عليها أبداً مقابل طريقة بتنكوفر. وإن البيانات الصافية من ماونا لوا «يدققها» عامل ميكانيك يمحو البيانات التي يعتبرها ضعيفة. وتدقق بهذا الأسلوب حوالى 82 في المئة من بيانات قياس CO_2 للأشعة تحت الحمراء، تاركةً 18 في المئة فقط من بيانات للتحليل الإحصائي[2092][2093]. ومع تدقيق بدائي كهذا للبيانات الخام، يمكن تبيان أي اتجاه يختاره المرء. وفي البحوث المنشورة، أزيلت تغيرات طبيعية كبيرة في الـ CO_2 من البيانات «بالتدقيق» من أجل وضع منحنى صاعد لإظهار المساهمة البشرية المتزايدة من انبعاثات CO_2.

كانت قياسات الـ CO_2 في القطب الجنوبي وقياسات «ماونا لوا» أقل من القياسات التي أجريت في الوقت ذاته في شمال غرب أوروبا من 21 محطة قياس باستعمال طريقة بتنكوفر[2094]. وخلال الفترة التي كانت فيها 21 محطة تعمل (1955 ـ 1960)، لم ترصد زيادة معنوية في الـ CO_2 الجوي[2095]. وهناك علاقة واهية بين درجة الحرارة ومحتوى CO_2 الجوي المتذبذب بشدة والمقاس بطريقة «بتنكوفر».

من ناحية أخرى بيّنت قياسات طريقة بتنكوفر في شمال غرب أوروبا أن الـ CO_2 تغير بين 270 و380 ppmv، مع معدل سنوي من 315 ـ 331 ppmv. ولم يكن هناك ميل لارتفاع أو هبوط في مستوى هذا الغاز في أي واحدة من المحطات، خلال فترة 5 سنوات. إضافةً إلى ذلك، أجريت هذه القياسات في مناطق صناعية خلال إعادة البناء ما بعد الحرب العالمية الثانية، وكان CO_2 الجوي المتزايد متوقعاً. وبينما أجريت هذه القياسات في شمال غرب أوروبا،

(2092) J. C. Pales and C. D. Keeling, «The Concentration of Atmospheric Carbon Dioxide in Hawaii,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 70 (1965), pp. 6053-6076.

(2093) R. Backastow, C. D. Keeling and T. P. Whorp, «Seasonal Amplitude Increase in Atmospheric CO_2 Concentration at Mauna Loa, Hawaii, 1959-1982,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 90 (1985), pp. 10529-10540.

(2094) W. Bischof, «Periodical Variations of the Atmospheric CO_2- Content in Scandinavia,» *Tellus*, vol. 12 (1960), pp. 216-226.

(2095) W. Bischof, «Variations in Concentration of Carbon Dioxide in Free Atmosphere,» *Tellus,* vol. 14 (1962), pp. 87-90.

تأسست محطة قياس في قمة ماونا لوا كي تكون بعيدة عن المناطق الصناعية المصدرة للـ CO_2. وفي الوقت عينه أصدر بركان ماونا لوا كميات كبيرة من CO_2، كما تفعل براكين أخرى من هاواي[2096]. وخلال الاندلاع البركاني، تم تفريغ المرصد (Observatory) لبضعة أشهر، فكانت هناك فجوة في سجل البيانات مثلت فترة انعدام القياسات. وليس هناك فجوات الآن في مجموعة بيانات ماونا لوا[2097].

قال تقرير «مونا لوا» إن المتوسط السنوي لمحتوى CO_2 الجوي عام 1959 كان 315.93 ppmv، وكان ذلك أقل بـ15 ppmv من قياسات أجرتها محطات في شمال غرب أوروبا لنفس السنة. وازداد CO_2 المقاس في مونا لوا إلى 351.45 ppmv في أوائل 1989[2098]. وإن قياس 1989 هو مثل القياسات الأوروبية قبل 35 عاماً بطريقة «بتنكوفر»، التي تدل على وجود مشكلات في طرائق القياس، وفي المعاملة الإحصائية للبيانات. وعندما تقارن القياسات الكيميائية والإحصائية بالقياسات المطيافية الحديثة، لا يمكن إيجاد علاقة. إضافةً إلى ذلك، فإن قياس ماونا لوا يتم بتحليل الأشعة تحت الحمراء[2099][2100]، وكانت له أيضاً بعض قياسات للب الجليد، وللـ CO_2 في الهواء المغلق بطريقة استشراب الغاز[2101].

تتغير نتائج «ماونا لوا» يومياً وموسمياً. ويغير التحلل الليلي للنبات وعملية التركيب الضوئي خلال ضوء النهار البيانات، كما يفعل السير (Traffic)

(2096) S. Ryan, «Quiescent Outgassing of Mauna Loa Volcano 1958-1994,» in: J. M. Rhodes and J. P. Lockwood, «Manua Loa Revealed: Structure, Composition, History and Hazards,» *American Geophysical Union Monograph*, vol. 92 (1995), pp. 92-115.

(2097) Z. Jaworowski, T. V. Segalstad and V. Hisdal, «Atmospheric CO_2 and Global Warming: A Critical Review,» 2nd Revised Edition, *Norsk Polarinstitutt Meddelelser* (1992), p. 119.

(2098) C. D. Keeling [et al.], «A Three-Dimensional Model of Atmospheric CO_2 Transport Based on Observed Winds, 1: Analysis of Observational Data,» in: D. H. Peterson, ed., *Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas*, American Geophysical Union Monograph; 55, pp. 165-236.

(2099) R. F. Keeling, S. C. Piper and M. Heimann, «Global and Hemispheric Sinks Deduced from Changes in Atmospheric O_2 Concentration,» *Nature*, vol. 381 (1996), pp. 218-221.

(2100) C. D. Keeling, and T. P. Whorf, «Atmospheric CO_2 Records from Sites in the SIO Air Sampling Network,» in: *Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Analysis Center* ([n. p.]: Oak Ridge National Laboratory, 2005).

(2101) C. MacFarling Meure [et al.], «Law Dome CO_2, CH_4 and N_2O Ice Core Records Extended to 2000 Years BP,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L14810.

والصناعة. وتنقل الرياح النازلة الـ CO_2 من براكين بعيدة وتزيد محتواه. وتسجل الرياح المتجهة عالياً خلال ساعات بعد الظهر CO_2 أقل بسبب استنزاف عملية التركيب الضوئي في حقول قصب السكر والغابات. وإن البيانات الخام هي متوسط لأربع عيّنات من ساعة إلى أخرى. وفي عام 2004، كان هناك 8784 قياساً محتملاً. وبسبب الأخطاء الآلية، بقيت هناك 1102 عينة بدون بيانات، و1085 عيّنة لم تستعمل بسبب الرياح المتجهة إلى الأعلى (Upslope Winds)، فيكون لـ 655 عيّنة تغير كبير في ساعة من الزمن، وقد استعملت هذه البيانات في صياغة الأرقام الرسمية لتقرير IPCC. وكان لـ 866 عيّنة تغير ساعة بساعة، ولكنها لم تستعمل[2102].

بيّنت قياسات ماونا لوا أن لـ CO_2 تغيرات بترددات أقل من سنوية تتعلق بتغيرات في مصادر الكربون، وانخفاض الكربون والنقل الجوي[2103]. وعادة يفصل الهواء المقبل خلال الفترة الواقعة بين نيسان/أبريل حزيران/يونيو تركيزاً أكثر انخفاضاً للـ CO_2. وتَستمد التغيرات الموسمية من نباتات وأشجار النصف الشمالي للكرة الأرضية النفضية (Decedious) التي تأخذ CO_2 في الربيع والصيف وتصدره في الخريف والشتاء بسبب اضمحلال مادة النبات الميتة. وفي كل شهر نيسان/أبريل، يبيّن تخفيض النصف الشمالي للكرة الأرضية للـ CO_2 الجوي: أن الطبيعة تتفاعل بسرعة مع CO_2 في الغلاف الجوي، ويمكنها إزالة كميات كبيرة منه في فترة قصيرة جداً. وهذه ليست أخباراً جديدة، فلقد سمّى المزارعون لآلاف السنين هذا الزمن بموسم النمو.

قد تكون هناك أخطاء في الاعتيان (Sampling) وفي إجراء التحليل[2104]. وتنتشر محطات القياس الآن حول العالم في مناطق ساحلية، أو في جزر معزولة، وذلك لقياس CO_2 في الهواء بدون أن يتعرض إلى تلوث أحيائي أو نتيجة للنشاط الصناعي. وذلك، لتأسيس محتوى خلفية للـ CO_2 في الغلاف الجوي. والمشكلة في هذه القياسات هي أن الهواء المستمد من اليابسة، الذي ينفخ حول

(2102) <ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/in-situ>.

(2103) B. R. Litner [et al.], «Seasonal Circulation and Mauna Loa CO_2 Variability,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 111 (2006), D13104, 10.1029/2005JD006535.

(2104) Z. Jaworowski, T. V. Segalstad and V. Hisdal, «Aospheric CO_2 and Gobal Wrming: A Critical Review,» 2nd Revised Edition, *Norsk Polarinstitutt Meddelelser* (1992), p. 119.

البحار يفقد حوالى 10 ppm من CO_2 حين يذوب CO_2 في المحيطات.

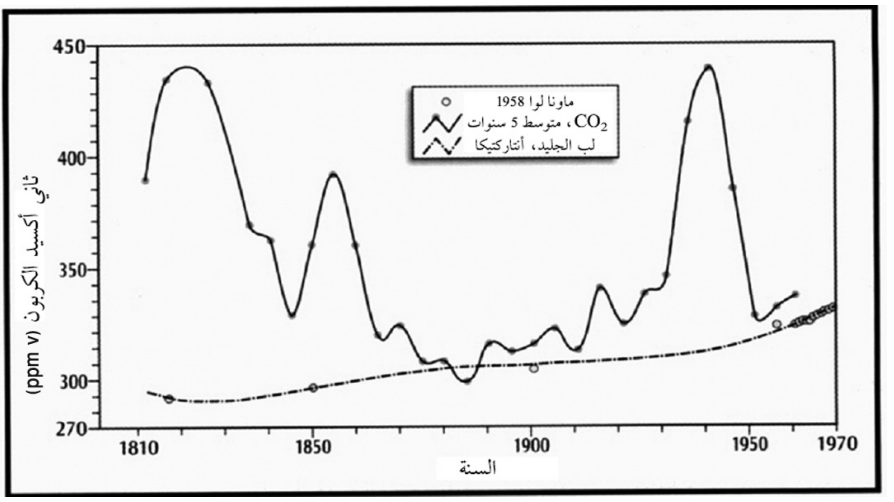
يُفقَد المزيد من CO_2 إذا كان المحيط أكثر برودةً. والمشكلة الأكبر هي أن طيف امتصاص الأشعة تحت الحمراء لـ CO_2 يتداخل (Overlaps) مع طيف امتصاص بخار الماء، والأوزون، والميثان، وأكسيد النيتروجين وCFCs[2105]. لذلك فإن لبعض معدات الأشعة تحت الحمراء جزءاً بارداً لاقتناص وإزالة بخار الماء. غير أن الـ CO_2 يذوب في الماء البارد فيزال بعضه أيضاً. ويتم الكشف عن بقية هذه الغازات وقياسها، وكأنها CO_2. وإن غازات مثل CFCs (كلوروفلوروكربون)، على الرغم من أنها أجزاء في المليار من الغلاف الجوي إلا أن لديها قدرة على امتصاص الأشعة تحت الأحمر بشكل كبير، حتى أنها تسجل كأجزاء في المليون من CO_2. وما لم يجر قياس كل الغازات الجوية الأخرى في آن معاً مع غاز CO_2، فإنه يجب التعامل بحذر شديد مع تحليلات تجري بتقنيات الأشعة تحت الحمراء. وإذا استعملت طريقة «بتنكوفر» تزامناً مع امتصاص طيف الأشعة تحت الحمراء للمصادقة، فقد تكون نتائج امتصاص الأشعة تحت الحمراء، موثوقة أكثر. إن أرقام CO_2 تحت الحمراء هي الآن في المستوى المسجل بطريقة «بتنكوفر» قبل 50 عاماً. فهل لدينا والحالة هذه إثبات مطلق على أن CO_2 قد ارتفع فعلاً خلال الـ50 عاماً الماضية؟

قال تقرير التقويم الثالث للـ IPCC عام 2001 إن قياسات الأشعة تحت الحمراء للـ CO_2 هي التي يُعوّل الاعتماد عليها فقط، ويمكن تجاهل القياسات الأخرى السابقة[2106]. ولا تبيّن قياسات CO_2 الجوية منذ 1812 تزايداً في CO_2، كما يظهر في قياسات «ماونا لوا». وقد اختارت IPCC أن تتجاهل قياسات CO_2 الدقيقة التي يزيد عددها على 90,000، وعلى الرغم من التداخل في الوقت بين طريقة «بتنكوفر» وقياسات الأشعة تحت الحمراء في «ماونا لوا». وإذا تم تجاهل كمية كبيرة من البيانات التاريخية المصادق عليها، فهناك حاجة لتقديم مناقشة عقلانية بهذا الخصوص جيدة. ولم يكن هناك تفسير، وإنما صمت فحسب.

(2105) B. P. Briegleb, «Longwave Band Model for Thermal Radiation in Climate Studies,» *Journal of Geophysical Research,* vol. 97 (1992), pp. 11475-11485.

(2106) IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contributions of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

وقد استخدمت أبحاث ما قبل تقرير IPCC، بيانات مختارة محلّلة بطريقة «بتنكوفر». ولكن بحذر شديد. وقد رفضت أيّ قيم تزيد أو تقل عن 10٪ من قيمة خط الأساس 270 ppmv[2107]. وشملت البيانات المرفوضة عدداً كبيراً من القيم العليا المحددة بطرق كيميائية. أُخذَ الرقم الأدنى المسجل منذ 1812، وقيمته270ppmv، كمقياس لما قبل المد الصناعي. وتريد IPCC أن تحظى بالرهانين، فهم مستعدون لاستعمال التحديد الأدنى بطريقة «بتنكوفر» كمقياس، غير أنهم لا يعترفون أن قياسات «طريقة بتنكوفر» بيّنت تراكيز للـ CO_2 منذ 1812 أعلى بعدة مرات من تراكيزه الآن.



الشكل 52: تحديدات ثاني أكسيد الكربون الجوي بطريقة «بتنكوفر» (خط صلب لمعدل 5 سنوات) بين 1812 و1961، استنتاجات ثاني أكسيد الكربون الجوي من لب جليد القطب الجنوبي (تحليل الغاز) وقياسات دقيقة لثاني أكسيد الكربون الجوي من «ماونا لوا» (طيف الأشعة تحت الحمراء، 1958 وما بعدها). تبيّن طريقة القياس تغيراً كبيراً في ثاني أكسيد الكربون الجوي، ولكن الطريقة الأخرى لا تظهر هذا. وقد رفضت IPCC القيم العليا لثاني أكسيد الكربون بطريقة «بتنكوفر» غير أن القيمة الدنيا لا تزال تستعملها كقيمة خط أساس ما قبل العهد الصناعي لثاني أكسيد الكربون الجوي.

إن لمرصد ماونا لوا القدرة على القياس المستمر والأطول للـ CO_2 الجوي في

(2107) G. S. Callender, «The Artificial Production of Carbon Dioxide and its Influence on Temperature,» *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 66 (1938), pp. 395-400.

موقع واحد، باستخدام مطياف الأشعة تحت الحمراء، واعتبر قياساً دقيقاً لـ CO_2 منتصف التروبوسفير بسبب قلة التأثيرات البشرية أو النبات، والأثر الأقل للبراكين، ولأنه كان هناك 50 عاماً من القياسات تستعمل التقنية نفسها[2108].

ويبيّن سجل ماونا لوا زيادة بنسبة 19.4 في المئة في معدل تركيز CO_2 السنوي من من 315.98 ppmv للهواء الجاف عام 1959 إلى 377.38 ppmv عام 2004. وكانت القفزة الأكبر بمقدار من 2.87 ppmv في إل نينو عام 1997 ـ 1998، توافقاً مع زيادات أخرى متعلقة بأحداث إل نينو[2109].

يشكل تفريغ (Desgassing) الغاز في المحيط مصدراً رئيساً للـ CO_2 الجوي، فإن سطح مياه البحر الباردة يذيب CO_2، وعندما تكون مياه البحر في المناطق الاستوائية يصدر سطحها غاز CO_2.

إن سطح مياه البحر هو الذي يصدر CO_2 فقط. ويحدث تفريغ الغاز (Degassing) في المياه الاستوائية أيضاً حول هاواي. وإن مياه عمق المحيط دون مشبعة (Undersaturated) ويمكنها أن تذيب كميات كبيرة من CO_2 من البراكين البحرية. وفي مناطق ارتفاع المياه، يصدر CO_2 هذا إلى الغلاف الجوي. ويدفئ النشاط الشمسي المتزايد سطح المحيطات، وبخاصة في المناطق الاستوائية. ويزيد هذا من كمية بخار الماء وCO_2 في الغلاف الجوي، ويخفض أخذ المحيطات لهذا الغاز. ونتيجة لذلك، يكون بعض الـ CO_2 المعزو إلى النشاط البشري من أصل شمسي[2110][2111]. وربما ساهم إصدار المزيد من بخار الماء وCO_2 إلى الغلاف الجوي في احترار أواخر القرن العشرين، بالإضافة إلى الاحترار من النتاج الشمسي المتزايد وتغيرات في المجالات الإلكترومغنطيسية والجاذبية للشمس.

(2108) C. D. Keeling [et al.], «Atmospheric Carbon Dioxide Variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii,» *Tellus*, vol. 28 (1976), pp. 538-551.

(2109) R. B. Bacastow [et al.], «Atmospheric Carbon Dioxide, the Southern Oscillation, and the Weak 1975 El Niño,» *Science*, vol. 210 (1980), pp. 66-68.

(2110) N. Scafetta and B. J. West, «Phenomenological Solar Signature in 400 Years of Reconstructed Northern Hemisphere Temperature Record,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006a), L17718, doi:10.1029/2006GL027142.

(2111) N. Scafetta, and B. L.West, «Phenomenological Solar Contribution to the 1900-2000 Global Surface Warming,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006b), L05708 doi: 10.1029/2005GL025539.

إذا كان لكلٍّ جزيئة (Molecule) من CO_2 عمر قصير، فهذا يعني أن جزيئات الـ CO_2 ستزال بسرعة من الغلاف الجوي ليتم امتصاصها في مخزن آخر. ولكن بأي سرعة؟ وحيث أن CO_2 الغلاف الجوي يزداد، فقد قيل إن CO_2 لم يذب في البحر، ويجب أن يكون له عمر بقاء في الجو لعدة مئات من السنين[2112]. وتقترح IPCC أن العمر يتراوح بين 50 إلى 200 عام[2113]. وقد انتُقِدَ عمر IPCC هذا لأنه ليس محدداً[2114]، ولأن IPCC لم تعط تبريرات لمقابر أو مصائر (Sinks) معروفة للـ CO_2[2115][2116]. ويمكن حساب العمر الجوي للـ CO_2 بقياس مقدار الكربون 12، والكربون 13 والكربون 14 في CO_2 الجو، ومن هذا، يمكن حساب عمر الـ CO_2 الحقيقي. ويمكن إعادة التأكد من ذلك بقياس مقدار غاز الرادون (Rn^{222}) المشع فيه(*)، بالإضافة إلى ذوبانيته وحسابات نظائر الكربون المتعددة.

وتعطي حسابات[2117] عمر CO_2 الجوي المبنية على نظائر الكربون 14 الطبيعي قيم عمر من 3 إلى 25 عاماً (18 دراسة منفصلة)، وعمره في للغلاف الجوي نتيجة حرق الوقود الأحفوري يراوح بين عامين إلى سبع سنوات (دراستان منفصلتان)، فيما يبلغ عمر C^{14} المتخلف من القنبلة النووية من عامين إلى أكثر من 10 سنوات (12 دراسة منفصلة)، وتعطي قياسات Rn^{222} عمر CO_2 الجوي من 7.8 إلى 13.2 عاماً (ثلاث دراسات منفصلة)، وتعطي ذوبانية CO_2

(2112) H. Rodhe, «Modeling Biogeochemical Cycles,» in: S. S. Butcher [et al.], *Global Biogeochemical Cycles* (San Diego: Academic Press, 1992), pp. 55-72.

(2113) J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums, *Climate Change: The IPCC Assessment: Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1990).

(2114) B. C. O'Neill [et al.], «Reservoir Timescales for Anthropogenic CO_2 in the Atmosphere,» *Tellus*, 46B (1994), pp. 378-389.

(2115) Jaworowski, Segalstad and Hisdal, «Atmospheric CO_2 and Global Warming: A Critical Review,» 2nd Revised Edition, *Norsk Polarinstitutt Meddelelser* (1992), p. 119.

(2116) T. V. Segalstad, «The Distribution of CO_2 between Atmosphere, Hydrosphere and Lithosphere; Minimal Influence from Anthropogenic CO_2 on the Global «Greenhouse Effect»,» in: J. Emsley, ed., *The Global Warming Debate: The Report of the European Science and Environmental Forum,* (London: Bourne Press, 1995), pp. 41-50.

(*) غاز الرادون غاز خامل كيميائياً ولكنه نشط إشعاعياً.

(2117) E. T. Sundquist, «Geological Perspectives on Carbon Dioxide and the Carbon Cycle,» in: E. T. Sundquistm and W. S. Broecker, eds., *The Carbon Cycle and Atmospheric CO_2: Natural Variations Archean to Present*, Geophysical Union Monograph; 32 (Washington, DC: American Geophysical Union, 1985), pp. 5-59.

عمراً جوياً من 5.4 سنوات[2118] وقيمة توازن الكربون 12 إلى الكربون 13 عمراً مقداره 5.4 سنوات[2119]. وهنالك القليل من الاختلاف. فإن عمر CO_2 في الغلاف الجوي يبلغ نحو 5 سنوات، وهو رقم اعترف به رئيس مجلس إدارة الـ IPCC السابق برت بولين (Bert Bolin)[2120]. ويعني عمر الـ CO_2 الجوي القصير أن نحو 18 في المئة من محتوى CO_2 الجوي يتبادل كل عام. هذا ولقد وضع أولئك الذين يقولون إن الزيادة المقاسة لـ CO_2 في الغلاف الجوي في «ماونا لوا» ناتجة من حرق الإنسان للوقود الأحفوري نماذج تقول بأن عمر الـ CO_2 في الغلاف الجوي يبلغ بين 50 ـ 200 عام[2121].

هناك اختلاف معتبر في عمر الـ CO_2 الجوي بين 37 قياساً مستقلاً وحسابات تستعمل ست طرق مختلفة وبين نموذج كمبيوتر IPCC. ولم يفسر هذا التناقض من قبل IPCC. فلماذا يكون هذا مهماً؟ وإذا كان عمر CO_2 الجوي الجوي 5 سنوات، فإن المجموع الكلي لـ CO_2 المستمد من حرق الوقود الأحفوري سيكون 1.2 في المئة[2122]، وليس 21في المئة التي افترضتها IPCC. ولكي تصير قياسات عمر CO_2 الجوي متوافقة مع افتراض IPCC، سيكون من الضروري دمج جميع الـ CO_2 المستمد من حرق الوقود الأحفوري العالمي مع مخزن CO_2 مختلف يكون أكبر من الغلاف الجوي بخمس مرات[2123].

كانت هناك محاولات لشرح هذا التعارض، شملت تأملات عن سلوك

(2118) J. W. Murray, «The Oceans,» in: S. S. Butcher [et al.], eds., *Global Biogeochemical Cycles* ([New York]: Academic Press, 1992), pp. 175-211.

(2119) T. V. Segelstad, «The Amount of Non-Fossil-Fuel CO_2 in the Atmosphere,» paper presented at: *American Geophysical Union, Chapman Conference on Climate, Volcanism and Global Change, March 23-27, 1992, Hilo, Hawaii, Abstracts*, p. 25.

(2120) B. Bolin and E. Erikson, «Changes in the Carbon Dioxide Content in the Atmosphere and Sea Due to Fossil Fuel Combustion,» in: *The Atmosphere and Sea in Motion: Scientific Contributions to the Rossby Memorial Volume* (New York: The Rockefeller Institute Press, 1959), pp. 130-142.

(2121) IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

(2122) R. Revelle and H. Suess, «Carbon Dioxide Exchange between Atmosphere and Ocean and the Question of an Increase in Atmospheric CO_2 during Past Decades,» *Tellus*, vol. 9 (1957), pp. 18-27.

(2123) W. S. Broecker [et al.], «Fate of Fossil Fuel Ccarbon Dioxide and Global Carbon Balance,» *Science,* vol. 206 (1979), pp. 409-418.

نظير الكربون غير المقاس[2124]، وتجاهلت التجارب الكيميائية وتجارب النظائر التي تبيّن توازناً بين CO_2 والماء خلال بضع ساعات[2125][2126].

إضافةً إلى ذلك، فإن نسبة الكربون 12 والكربون 13 المقاسة في CO_2 الغلاف الجوي مختلفة أساسياً عن تلك المستعملة في نموذج IPCC[2127]. ولا يدعم نموذج IPCC عن طول مدة بقاء CO_2 في الغلاف الجوي، ومقدار CO_2 الوقود الأحفوري في الغلاف الجوي، بدلائل النظائر الإشعاعية أو غير الاشعاعية للكربون، وبالتالي فإن الافتراضات الأساسية التي افترضتها IPCC ليست صحيحة. وربما نشأت مشكلات IPCC من الاهتمام بأن لب الجليد لا يعطي بيانات يعتمد عليها عن الغلاف الجوي في الماضي، بما في ذلك الغلاف الجوي قبل الثورة الصناعية. وربما كانت مشكلات IPCC مستمدة من حقيقة أن قياسات CO_2 الجوية الحديثة كانت بطريقة آلية غير مصادق عليها[2128]، في حين كانت نتائجها مختارة عيانياً و«محررة»، ومنحرفة عن قياسات غير مختارة لمستويات CO_2 الثابتة، وبطرق كيميائية دقيقة جداً أجريت في 19 محطة في أوروبا[2129].

إن مساهمة ثاني أكسيد كربون كوقود أحفوري في الغلاف الجوي، وعمره في هذا الغلاف الجوي هو أساس وجود IPCC أساساً. وليس هناك من سبب لوجودها الآن. ولمجموعة CO_2 الجوية، والتكثيف البحري، وتفريغ الغاز،

(2124) H. Oeschger and U. Siegenthaler, «The Dynamics of the Carbon Cycle as Revealed by Isotope Studies,» in: J. Williams, ed., *Carbon Dioxide, Climate and Society* (Oxford; New York: Pergamon Press, 1978).

(2125) H. Inoue and Y. Sugimura, «Carbon Isotopic Fractionation during the CO_2 Exchange Process between Air and Seawater Under Equilibrium and Kinetic Conditions,» *Geochimica et Cosmochimica Acta*, vol. 49 (1985), pp. 2453-2460.

(2126) W. Dreybrodt [et al.], «The Kinetics of the Reaction $CO_2 + H_2O \rightarrow H^+ + HCO_3^-$ as One of the Rate Limiting Steps in the System H_2O-CO_2-$CaCO_3$,» *Geochimica et Cosmochimica Acta,* vol. 60 (1996), pp. 3375-3381.

(2127) C. D. Keeling [et al.], «A Three-Dimensional Model of Atmospheric CO_2 Transport Based on Observed Winds, 1: Analysis of Observational Data,» in: D. H. Peterson, *Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas*, Geophysical Union Monograph; 55 (Washington, DC: American Geophysical Union, 1985), pp. 165-236.

(2128) Z. Jaworowski, T. V. Segalstad and V. Hisdal, «Atmospheric CO_2 and Global Warming: A Critical Review,» 2nd Revised Edition, *Norsk Polarinstitutt Meddelelser*, vol. 119 (1992).

(2129) W. Bischof, «Periodical Variations of the Atmospheric CO_2-Content in Scandinavia,» *Tellus*, vol. 12 (1960), pp. 216-226.

وCO_2 من المصادر الجيولوجية (تفريغ الغاز البركاني، والتحول، وبناء الجبال، والصدوع)، يجب أن يكون فقدان CO_2 من التجوية وامتزازه بكائنات صغيرة أهم بكثير مما تفترضه IPCC. وإن مجموع ما يصدره CO_2 من حرق الوقود الأحفوري والانبعاثات البيوجينية (4 في المئة من CO_2 الجوي) أقل أهمية بكثير من من 21 في المئة من CO_2 الجوي الذي تفترضه IPCC.

إن محتوى CO_2 في الغلاف الجوي محدد تماماً بعمليات جيولوجية. وأفرغت الأرض عبر الـ 4567 مليون عام الماضية، نحو نصف الـ CO_2 المقدر بعمليات جيولوجية[2130]. ولم يفقد CO_2 هذا للفضاء، فهو مخزون في الصخور (مثل حجر الجير) في الأحياء. ويحدد التوازن بين تفريغ (Degassing) CO_2 من داخل الأرض والتجوية (نظام الغلاف الجوي ـ البيوسفير ـ هيدروسفير ـ ليثوسفير)، وترسبات الكربونات غير العضوية والكربونات البيولوجية، محتوى CO_2 الجوي. ويتحكم أخذ CO_2 بقلوية مياه البحر خلال عملية التجوية، وإن الترسبات الكربونية غير العضوية والبيولوجية في المحيطات هي مقابر رئيسية لـ CO_2. وقد أبقت هذه المقابر المحيطات قلوية مليارات السنين. تُسرِّع المناخات الأدفأ التجوية، وبالتالي تسرع أخذ CO_2 الجوي. ويتحكم المناخ بمحتوى CO_2 الجوي، لذا فإنه من المستبعد أن يحرك CO_2 الجوي المناخ[2131]. ولقد عرفنا ذلك من تباطؤ التزايد في CO_2 خلال الـ 800 عام التي تبعت ارتفاع درجة الحرارة، كما هو مقاس في لب الجليد.

تدّعي التأكيدات الأساسية في الاحترار الكوني أن CO_2 تزايد تقريباً بنحو 35 في المئة خلال الـ 150 عاماً الماضية. ولهذا التأكيد تحد هو أن إصدار CO_2 من الصخور المنصهرة (على سبيل المثال، كامشاتكا) لم يتم قياسها، وإن إصدار CO_2 من البكتريا في الأربع الكيلومترات الأولى من قشرة الأرض غير معروف، وإصدار CO_2 أثناء ترافع (Uplift) الجبال وجبال الألب خاصة غير معروف، وإصدار CO_2 من براكين بحرية غير معروف أيضاً. ولمعظم الـ CO_2 هذا علامة بيولوجية، وبالتالي لا يمكن تمييزه من CO_2 المستمد من حرق الوقود الأحفوري.

(2130) Heinrich D. Holland, *The Chemical Evolution of the Atmosphere and Oceans* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1984).

(2131) K. Y. Kondratyev, *Climate Shocks: Natural and Anthropogenic* (New York: Wiley, 1988).

إذا أذابت مياه المحيط الباردة الـ CO_2 الجوي أو أذابت الـ CO_2 البركاني داخل المحيطات، فإن هذا الـ CO_2 ما كان ليصدر لمئات إلى آلاف من السنين اللاحقة. وإذا ازداد الـ CO_2 الجوي خلال الـ 150 عاماً الماضية، فسوف تحتاج عمليات التباطؤ وعمليات إصدار CO_2 في الغلاف الجوي إلى أن تُقوَّم بدقة. وتُحمَل المياه الباردة الحاوية على CO_2 إلى المناطق الاستوائية بتيارات عميقة. وعندما ترتفع هذه المياه في التدفق (Upwelling) أو تسخن في المناطق الاستوائية، فإنها تصدر CO_2. ويخبرنا إصدار الـ CO_2 في الغلاف الجوي من المحيطات عن عمليات حدثت وتَحدُث منذ مئات إلى آلاف السنين، ولا يعطينا معلومات عن السيرورات الحديثة (ومنها حرق الوقود الأحفوري) التي تتحدث عنها IPCC.

ماذا تقول إذاً عن CO_2؟ هنالك أوراق أبحاث كثيرة تستعمل مجموعة البيانات ذاتها مثل IPCC، ولكنها تستمد استنتاجاً مختلفاً. على سبيل المثال، استنتجت دراسات في الصين أن الاحترار الكوني لا يتعلق فقط بـ CO_2، وأن أثر CO_2 في درجة الحرارة مبالغ به جداً[2132]. ويقول توكيد من IPCC أن درجة الحرارة الجوية العالمية ارتفعت 0.7 درجة مئوية منذ عام 1850. وكان الارتفاع الأكثر لدرجة الحرارة العالمية قبل انطلاق الصناعة الواسعة (من 1850 إلى 1940)، ثم تناقصت درجة الحرارة خلال فترة التنامي الاقتصادي التي تلت الحرب العالمية الثانية، بينما تزايدت الانبعاثات الصناعية للـ CO_2 بشدة، وارتفعت درجة الحرارة من سنة 1976 إلى سنة 1998. ثم بقيت ثابتة منذ 1998. إضافةً إلى ذلك، هناك شك في قياسات الثرموميتر، إذ إن قياسات الثرموميتر ليست متوافقة مع قياسات درجة الحرارة المقاسة من المنطاد أو الأقمار الاصطناعية. فضلاً عن ذلك، فقد انتهى العصر الجليدي الصغير عام 1850، ومع ذلك ارتفعت درجات الحرارة بشكل طبيعي. والغريب أن كل ذلك يعزى إلى أن الحرارة هذه سببها النشاط البشري. ولكن لا يمكن ربط ارتفاع درجة الحرارة بعد عام 1850، بل يجب ربطه بالعمليات الطبيعية. وقد تكون الزيادة في CO_2 الجوي بعد عام 1940 بسبب إصدار CO_2 من المحيطات التي تتلقى

(2132) L. Zhen-Shan and S. Xian, «Multi-Scale Analysis of Global Temperature Changes and Trend of a Drop in Temperature in the Next 20 Years,» *Meteorology and Atmospheric Physics,* vol. 95 (2007), pp. 115-121.

ببطء الحرارة التي تبعثها الشمس من 1850 إلى 1940، أو حتى في فترة احترار العصور الوسطى أو الاحترار الروماني.

يقول توكيد آخر للـ IPCC إن CO_2 غاز دفيئة. ولا يعترف هذا التوكيد بأن H_2O هو غاز الدفيئة الرئيسي، وأن CO_2 المستمد من النشاط البشري ينتج 0.1 في المئة من الاحترار الكوني، وأن هناك حدَّ ذروةٍ للـ CO_2، يكون بعدها للتزايد في CO_2 أثر ضئيل على احترار الغلاف الجوي. وإن محتوى الـ CO_2 الحالي في الغلاف الجوي هو الأدنى منذ آلاف ملايين السنين، وقد ازدهرت الحياة (بما فيها حياة الإنسان) في أزمنة كان فيها CO_2 أعلى كثيراً من الآن[2133].

قال تقرير IPCC عام 2007 القوة الإشعاعية لـ CO_2 (Radiative Force) تزايدت 20 في المئة خلال السنوات العشر الأخيرة. وتضع القوة الإشعاعية عدداً على التزايدات في الطاقة الإشعاعية للغلاف الجوي، وبالتالي في درجة الحرارة؛ ففي عام 1915 كان هناك 360 ppmv من CO_2 في الغلاف الجوي، ووصل في عام 2005 إلى 378 ppmv، أي نحو 5 في المئة أعلى. فضلاً عن ذلك فإن كلَّ جزيء إضافي من CO_2 في الغلاف الجوي يسبب زيادة طفيفة في الطاقة الإشعاعية عن سابقة، ويبقى طاقة إشعاعية أصغر من سابقه، وكان التزايد الحقيقي في القوة الإشعاعية 1 في المئة. وهنا بالغت IPCC في أثر تقييم الـ CO_2 عشرين مرة.

خلال أزمنة العصور الجليدية قبل 140,000 عام، كان محتوى CO_2 في الغلاف الجوي أعلى مما كان قبل الثورة الصناعية، الذي يعادل 270 ppmv[2134]. ومن الواضح أن CO_2 ليس العامل الوحيد الذي يتحكم بدرجة حرارة الهواء، وإلا لما كانت هناك ظروف عصر جليدي مع محتوى CO_2 جوي أعلى. واتصف الانتقال من عصر جليدي عالمي إلى احترار كوني قبل 250 مليون عام بارتفاعات ضخمة (وصلت إلى 2000 ppmv) وانخفاضات (وصلت إلى 280 ppmv) في مقدار CO_2 الجوي[2135]. وازدهرت خلال هذا الزمن حياة

(2133) C. R. deFreitas, «Are Observed Changes in the Concentration of Carbon Dioxide in the Atmosphere Really Dangerous?,» *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, vol. 50 (2002), pp. 297-327.

(2134) C. Lorius [et al.], «The Ice-Core Record: Climate Sensitivity and Future Greenhouse Warming,» *Nature*, vol. 347 (1990), pp. 139-145.

(2135) I. P. Montanez [et al.], «CO_2-Forced Climate and Vegetation Instability during Late Paleozoic Deglaciation,» *Science*, vol. 315 (2007), pp. 87-91.

النبات والحيوان. فإذا لم يُعَدْ تدوير الـ CO_2 وأحرق البشر كل الوقود الأحفوري المعروف على وجه الأرض، إذاً لكان محتوى CO_2 الجوي الآن 2000 ppmv.

لقد بيّنت العلاقة بين CO_2 ودرجة الحرارة على امتداد الزمن الجيولوجي (مدى زمني من مليون إلى 10 ملايين عام) أن CO_2 يعمل مع عدة عوامل بما فيها نور الشمس، والتكتونيات، والجغرافية القديمة. وهناك نحو 500 سجل قياسي من CO_2 خلال الـ 500 مليون عام الماضية تبيّن أن جميع الأحداث الباردة متعلقة بمستوى CO_2 تحت 1000 ppmv. وعندما يكون CO_2 أقل من 500 ppmv، فهذه ستكون وصفة ملائمة لتجلد قاري واسع الانتشار[2136]، وهذا، مخالف لدراسات أخرى بيّنت أن تركيز الـ CO_2 الجوي في أزمنة باردة سابقة كان أكثر من 4000 ppmv، كما حصل في التجلد الأوردوفيشي ـ السيلوري (Ordovician-Silurian) قبل 450 ـ 420 مليون عام، وحوالى 2000 ppmv في التجلد الجوراسي ـ الطباشيري (Jurassic - Cretacecus)[2137] قبل 132 - 151 مليون عام.

لقد قيل حديثاً إن التجلد الحالي في غرينلاند حَرَّكه محتوى CO_2 الجوي المنخفض[2138]. وقد اختبرت عدة آليات تحفيزية للتجلد (مدارية، وإغلاق منفذ باناما البحري، وإل نينو الدائم، وترافع (UpLift) الهيمالايا) باستعمال نموذج رياضي[2139]. وهذا النموذج هو نفسه الذي يحاول توقع مناخات المستقبل على أساس أن CO_2 هو الذي يحرّك المناخ. ولم تكن هذه النتيجة مفاجئة إذ إن النماذج تُبرمج لإنتاج نتائج معيّنة. وإن ما لم تتم مناقشته هو كيفية انخفاض CO_2 الجوي ودور النشاط خارج الأرضي، والنشاط الشمسي.

إن المحتوى الحالي للـ CO_2 في الغلاف الجوي هو 385 ppmv، وهذا متكافئ مع المناخ الحديث المتذبذب الذي يحمل بين طياته 90,000 عام من التجلد القاري و10,000 عام من الدفء ما بين الجليدي. ويبيّن التغير في CO_2

(2136) D. L. Royer, «CO_2-Forced Climate Thresholds during the Phanerozoic,» *Geochimica et Cosmochemica Acta,* vol. 70 (2006), pp. 5665-5675.

(2137) R. A. Berner and Z. Kothavala, «Geocarb III: A Revised Model of Atmospheric CO_2 over Phanerozoic Time,» *American Journal of Science*, vol. 301 (2001), pp. 182-204.

(2138) D. J. Lunt [et al.], «Late Pliocene Greenland Glaciation Controlled by a Decline in Atmospheric CO_2 Levels,» *Nature*, vol. 454 (2008), pp. 1102-1105.

(2139) HadCM3.

أن حساسية مناخية أعلى من 1.5 درجة مئوية ربما كانت أقوى ميزة لنظام مناخ الأرض خلال الـ420 مليون عام الماضية[2140].

يؤثر محرك المناخ في توازن المناخ، وتتغير درجة الحرارة بناءً على ذلك. ونتيجة لدرجة حرارة أعلى، يتم إصدار (Outgassed) المزيد من الـ CO_2 من المحيطات. إن هذه الأمور معقدة، وإن حسابات التوازن صعبة بسبب عدد كبير من العوامل غير المعروفة. فعلى سبيل المثال، تجلب الرياح الأقوى مزيداً من الغبار إلى أحواض المحيطات ضمن درجات حرارة منخفضة، كما هو الحال عند التجلد. ويحوي هذا الغبار حديداً وعناصر أخرى فيحرك تزايداً في النشاط البيولوجي، وبخاصة في تلك الأجزاء من المحيطات التي تحوي مواد غذائيةً محدودة. ويزيل النشاط البيولوجي هذا الـ CO_2 من الغلاف الجوي، بدون أن يكون هناك تجلد جار. وفي مجرى الأمور، يلعب CO_2 دور العازف الثاني في سيمفونية المناخ العالمي.

تجري عملية التركيب الضوئي بسرعة، وهنالك دورات سنوية يستهلك فيها مزيد من CO_2 في أشهر الصيف الدافئة أكثر من الشتاء. وهناك أيضاً تباطؤات في عودة CO_2 إلى الغلاف الجوي إذا طمرت المواد العضوية المنتجة بعملية التركيب الضوئي في الترسبات، وفي الخث أو الصخور الكلسية. ويمنع هذا عمليات تحول مركبات الكربونات إلى CO_2 والميثان وصعودها إلى الغلاف الجوي. وقد سرّعت عمليات طمر مركبات الكربونات منذ حوالى 400 مليون عام بعد نشأة النباتات الوعائية الأرضية، فنمت الغابات بسرعة، وسَرّعت إزالة الـ CO_2 من الغلاف الجوي، ولم يُعَد تدوير الكربونات كـ CO_2 جوي لأنه طمر كفحم، وكترسبات كربونية، وترسبات جيرية وحيود كلسية. ثم مرت أزمنة، مثل الزمن الكربوني، كان فيها انفجار نباتي على الأرض؛ فكانت هناك إزالة واسعة للـ CO_2 من الغلاف الجوي، ومزيد من التأكسد وتخزين للكربونات المعاد تدويره في فحم النصف الشمالي للكرة الأرضية. حصلت إزالة CO_2 من الغلاف الجوي مباشرة قبل التجلد البرمو ـ كربوني (Permo-Carboniferous)، وربما كان ذلك أحد العوامل التي هيّأت المرحلة للعصر الجليدي. وفي ذلك

D. L. Royer, R. A. Berner and J. Park, «Climate Sensitivity Constrained by CO_2 (2140) Concentrations over the Past 420 Million Years,» *Nature*, vol. 446 (2007), pp. 530-532.

الوقت، كانت قارة غوندوانا (Gondwana) في القطب الجنوبي، وكانت صفائح جليد البرمو ـ كربونية في مناطق بعيدة عن خط الاستواء.

إذا كان التجلد «البرمو ـ كربوني» قد تأثر بمحتوى CO_2 الجوي المنخفض، فماذا عن التجلد البلايستوسيني (Pleistocene Glaciation) الذي نتمتع به الآن؟ لقد انجرفت الهند شمالاً خلال تفكك قارة «غوندوانا» العظيمة خلال الـ100 مليون عام الماضية، واصطدمت بآسيا قبل 50 مليون عام، وارتفعت الهيمالايا إلى الأعلى، ولا تزال الهند تندفع بوجه آسيا فيما تندفع الهيمالايا إلى الأعلى. وقد زاد تراكم الثلج والجليد عالي الارتفاع من انعكاس مقدار الطاقة الشمسية. تبلغ مساحة الهيمالايا نصف مساحة الولايات المتحدة الأميركية، وبالتالي، فإن أثر التغذية الراجعة للطاقة الشمسية المنعكسة كبير. وقد غير حجم السهل التيبيتي وارتفاعه نماذج الرياح العالمية، التي نتج منها تغيرات إقليمية للمناخ. ويسبّب الاختلاف الكبير في درجات حرارة الشتاء والصيف بعثرة الصخور، ويُنتج ذلك قِطَعَ صخورٍ ذات مساحة سطحية كبيرة ملائمة لهجوم الأمطار والكائنات المجهرية.

ويسخن السهل التيبيتي الكبير في الصيف، فيسخن الهواء الذي فوقه ويرتفع ويجر الهواء الرطب الأبرد من المحيط الهندي الاستوائي إلى أعلى السهل، وينتج من ذلك أمطار موسمية تهاجم الصخور لتشكّل الترب، وهي عملية تزيل الـ H_2O والأكسجين والـ CO_2 من الغلاف الجوي وتضيف ملحاً وبيكربونات إلى المحيطات. وتجرد التربة من المنحدرات الشديدة في فترات من هطول الأمطار الشديد وتبدأ العملية من جديد. ويبيّن التراكم الكثيف للترسبات في دلتا الغانج (Ganges Delta) في خليج البنغال أن عملية إزالة CO_2 من الغلاف الجوي تجري منذ 50 مليون عام، وبعد 15 مليون عام من بدء هذه العملية، ظهر الجليد في القطب الجنوبي[2141].

إن قياس CO_2 بطريقتين مختلفتين يبقى موقوفاً؛ فكمية CO_2 في الغلاف الجوي تقل بكثير عن الكمية المستعملة وفق IPCC، وهذا يؤثر بشدة في تقدير مقدار الـ CO_2 الذي ينتجه الإنسان. ولم تذكر IPCC جميع مصادر ومقابر CO_2

(2141) M. E. Raymo and W. F. Ruddiman, «Tectonic Forcing of Late Cenozoic Climate,» *Nature*, vol. 359 (1992), pp. 117-122.

أيضاً. فإن حسابات انتقال CO_2 بين الغلاف الجوي والمحيطات تستعمل كمية من البيانات غير المكتملة. وباستعمال نماذج دوران عامة مختلفة، تقارن نماذج الكمبيوتر وتتوافق لأسباب غريبة مع نماذج كمبيوتر أخرى استعملت مجموعة البيانات نفسها[2142]. من الواضح إذن أن هناك الكثير ينبغي أن نتعلمه عن الـ CO_2.

كلمة أخيرة عن القياس. إن لطرق القياس والتعامل مع البيانات الخاصة بدرجة حرارة سطح البحر، ودرجة حرارة الهواء وCO_2 أخطاءً، وانحيازاً، ونقصاً في الترابط بين نتائج القياس المختلفة، ونقصاً في الثبات، واختياراً مغربلاً للبيانات، والرتبة. وإذا أردت أن تقيس شيئاً للحصول على استنتاج مقدر، فذلك سهل. فعلى سبيل المثال، إذا أردت أن تبيّن أن القمر مصنوع من جبنة خضراء، فإن السرعة الزلزالية لجتوست (Gjetost) (جبنة خضراء نرويجية) مشابهة للصخر القمري 10017، ولأن السرعة الزلزالية قياس لتركيب مادة، فيجب للقمر أن يكون مصنوعاً من الجبنة الخضراء. ولكي نكون أكثر دقة حقاً، فهي الجبنة الخضراء النرويجية. والعلم يثبت ذلك.

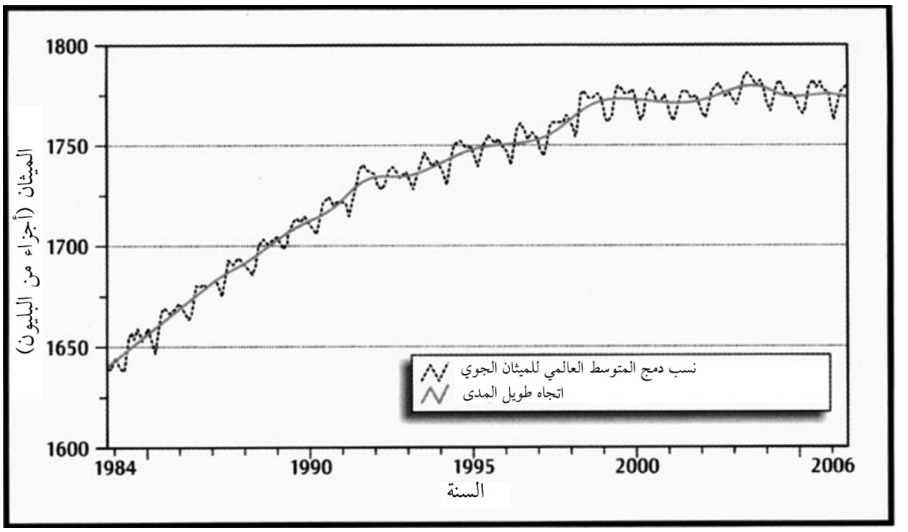
الميثان وغازات دفيئة أخرى

ينبعث الميثان (CH_4) من الماشية، وحقول الأرز، والنمل الأبيض (الترمايت) (Termites)، وتحلل الأحياء، والهيدرات، وتسرب النفط، والصخور، ومرتفعات منتصف المحيط والترسبات. ويمكن لأحدنا أن يتفكر في سبب تركيز النشطاء السياسيين انتباههم على CO_2 بدلاً من الميثان. وقد يكون ذلك لأن CO_2 مرتبط بالنمو الصناعي، بينما يعتبر الميثان «طبيعياً» أكثر ويَصْدُر من أمم أقل تطوراً[2143].

إن الميثان، برغم وجوده بمقادير أثرية (قليلة جداً) في الغلاف الجوي، إلا أنه غاز دفيئة بامتياز وهو يفوق في قدرته كلاً من CO_2 أو بخار الماء. كما أنه شديد التفاعل، وعليه، له حياة محدودة في الغلاف الجوي.

C. Le Quere [et al.], «Two Decades of Ocean CO_2 Sink and Variability,» *Tellus*, B55 (2142) (2003), pp. 649-656.

S. F. Singer, *Nature not Human Activity Rules the Climate* (Chicago, IL: Heartland Institute, (2143) 2008).



الشكل 53: التغيرات في الميثان الجوي[2144] تبيّن اتجاهات سنوية، واتجاهات أمدها 25 عاماً. لاحظ أن الاتجاه طويل الأمد قد تسطح منذ 1998، على الرغم من ازدياد عدد الحيوانات المحلية التي تصدر الميثان، وبالتالي فهناك مصادر غير محسوبة للميثان وغير متعلقة بالنشاط البشري.

وتبيّن بعض المنشورات تناقص محتوى الميثان العالمي، وتبيّن غيرها تزايد المحتوى[2145]. وإن سبب التغاير والتغيرات في محتوى الغلاف الجوي من الميثان غير معروف. وإذا نظرنا إلى انبعاثات CO_2 والميثان من الإنسان والدواجن، فيبدو أن الدواجن مسؤولة عن الانبعاثات أكثر من جميع السيارات والطائرات ووسائل نقل أخرى مجتمعة[2146]. ويُنتج حرق الوقود لإنتاج سماد لنمو النباتات، وإنتاج اللحم ونقله، وتأمين النباتات للرعي، 9 في المئة من انبعاثات الإنسان والدواجن لـ CO_2، وينتج التطبل[*] ودخن (Fume) السماد كميات كبيرة من الميثان. ويتولد الميثان في أحشاء الماشية والنمل الأبيض وغيرها من الحيوانات بفعل البكتريا. كما تصدر البكتريا في المستنقعات والتربة

(2144) دورة الكربون التعاونية مع بيانات شبكة عينة الهواء (Carbon cycle co-operative air sample network data).

(2145) M. Rigby, «Renewed Growth of Atmospheric Methane,» *Geophysical Research Letters,* vol. 35 (2008), L22805, doi: 10.1029/2008GL036037.

(2146) منظمة الزراعة والأغذية للأمم المتحدة (الفاو): (UN Food and Agricultural Organisation 2006: Livestock's Long Shadow).

(*) التطبل: امتلاء البطن بالغازات (المترجم).

والصخور كميات كبيرة من الميثان. وبسبب الحياة القصيرة للحيوانات المجترة، وبكتريا النمل الأبيض والأحشاء، وحرق الكتلة الحيوية، تُرجع الحيوانات المجترة والبكتريا الكربون 14 إلى الغلاف الجوي، لذلك تظهر حسابات مقادير الكربون من حرق الوقود الأحفوري، وزمن وجود CO_2 في الغلاف الجوي، أرقاماً بقيم عالية.

تنتج الدواجن نحو 100 غاز مختلف تعتبر ملوّثات، ويحوّل الرعي 20 في المئة من المراعى إلى صحاري، ويحتاج إلى نحو 500 لتر من الماء لإنتاج ليتر حليب. وتغذي مخلفات الحيوانات والسماد مجاري المياه المفتوحة فتملأها بالأعشاب والطحالب التي تغطي وتخنق أشكال الحياة الأخرى. ويمكن لمبيدات الحشرات ومضادات الحيوية، والهرمونات أن تدخل إلى مياه الشرب، ويمكن أن تسبب النطاقات الميتة في الحيود المرجانية مواد فاسدة من مراعي المواشي. تصدر البقرة ما معدله 150 إلى 250 ليتراً في اليوم من الميثان، وهو غاز دفيئة أكثف بـ 20 مرة من CO_2. وإذا قدنا سيارة ديزل بفعالية 5.5 لتر في كل 100 كيلومتر، فإن أثر الدفيئة اليومي لبقرة يعادل قيادة 10,000 كيلومتر في هذه السيارة. وهناك الترمايت (النمل الأبيض) وهو منتج أكبر للميثان.

لسنا متأكدين من أين يأتي الميثان في العالم. فعلى سبيل المثال، تعطي بحيرة كيفو (Lake Kivu) في صدع شرق أفريقيا مفتاحاً للصعوبات مع الميثان. فإن كميات كبيرة من CO_2 والميثان تصدر من براكين وادي الصدع والينابيع الحارة القريبة منها. وإن هذه الانبعاثات متفرقة، وبالتالي فإن قياس انبعاثات الغاز، عبر السنوات أو العقود، غير قادر على إعطاء قيمة الفقدان الكلي للميثان عبر الزمن. وإذا تفاعل CO_2 الصادر من بركان مع الهيدروجين، وهو غاز بركاني آخر شائع، يتشكل الميثان. ويستمد نحو 70 في المئة من الميثان في بحيرة «كيفو» من هذه العملية، ويتشكل الباقي من تخمير البكتريا للأسيتات في الترسبات[2147]. ويتناقص انخفاض الميثان في الغلاف الجوي للأرض في الوقت الذي يتزايد فيه عدد الحيوانات التي تصدر الميثان مثل الدواجن، والغنم. إن استعمال الميثان في أي نموذج مناخي أمر خطير لأننا نعرف القليل فقط عنه.

K. Tietze [et al.], «The Genesis of Methane in Lake Kivu (Central Africa),» *International* (2147) *Journal of Earth Sciences*, vol. 69 (1980), pp. 452-472.

إن البلدان الرطبة مصدر كبير للميثان. فتلك البلدان التي تقع تحت القطب في النصف الشمالي للكرة الأرضية مصدر بارز للميثان، غير أن نسبته من بلاد رطبة بعيدة عن خط الاستواء وبلاد قريبة من خط الاستواء لا تزال غير معروفة[2148]. وتبين قياسات كل ساعة للميثان في التربة ولمدة سنة ومن خريف إلى شتاء متجمد أن الإصدار يخف بعد فصل النمو (Growing Season)، وعندما يكون سطح التربة متجمداً تظهر تفقعات مشتّتة يصدر منها الميثان[2149]. وربما كانت الفوهات في ترسبات قاع البحر، وبخاصة في مناطق بعيدة عن خط الاستواء، قد نتجت من تحلل هيدرات الميثان، والإصدار الكارثي للميثان وH_2O. تتحول هيدرات الميثان تحت سطح البحر، ويتأكسد الميثان في ماء البحر مكوّناً CO_2 وH_2O. ويستمد الكربونات في هيدرات الميثان النسبة الخصائصية بين C^{12} إلى C^{13} المميزة للكائنات المجهرية البحرية. وعندما تموت الكائنات البحرية هذه، تسقط إلى قاع البحر لتصبح أحافير في الترسبات. وتبقى علامة C^{12}:C^{13} ثابتة. وتبيّن ترسبات الصدف القارية سلسلة من نتوءات C^{12}:C^{13} ثابتة. ومُميزة ومبيّنةً أن الميثان قد زرق فجأةً في مياه البحر ولعدة مرات. وقد تحدث هذه العملية. فإذا كان هناك زرق معنوي للميثان في المحيط، تشحن المياه بالغاز وتغرق سفينتك. وقد تغرق بعض مراكب الصيد في بحر الشمال بصورة مفاجئة نتيجة تفقعات ميثانية تسبب فقداناً مفاجئاً لقدرة هذه المراكب على الطفو.

تعد الأحياء مصدر هائل للميثان[2150]. فالحيوانات المجترة تحتوي بكتريا ميثانوجينية (Methogenic) في أحشائها، تنتج كميات كبيرة من الميثان من التخمير[2151]. وبعض انبعاثات الميثان مصدرها حيوانات مدجنة[2152]، وبخاصة

(2148) S. E. Mikaloff Fletcher [et al.], «CH_4 Sources Estimated from Atmospheric Observations of CH_4 and C^{13}/C^{12} Isotopic Ratios 1: Inverse Modeling of Source Processes,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 18 (2004), GB4004.

(2149) M. Mastepanovan [et al.], «Large Tundra Methane Burst during Onset of Freezing,» *Nature,* vol. 456 (2008), pp. 628-631.

(2150) J. Lerner, E. Matthews and I. Fung, «Methane Emissions from Animals: A Global High-Resolution Database,» *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 2 (1988), pp. 139-156.

(2151) M. P. Bryant, «Microbial Methane Production-Theoretical Aspects,» *Journal of Animal Science*, vol. 48 (1979), pp. 193-201.

(2152) D. E. Johnson and G. M. Ward, «Estimates of Animal Methane Emissions,» *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 42 (1996), pp. 133-141.

الدواجن[2153]. كما يحدث التخمير في الروث، منتجاً المزيد من الميثان[2154]. وإن لكثير من المفصليات الأرضية مثل النمل الأبيض، والصراصير، والدودة الألفية (Millipede)، والخنافس السود، أحشاء خلفية يوجد فيها بكتريا ميثانوجينية. وتصدر هذه الحيوانات مقداراً كبيراً «غير معروف مقداره» من الميثان إلى الغلاف الجوي[2155]. وكانت هناك بعض المحاولات لحساب مقدار الميثان الصادر من النمل الأبيض[2156]. وإن البكتريا التي تصدر الميثان هي من أقدم أشكال الحياة القديمة على الأرض، وهي مجموعة[2157] بيولوجية فريدة توجد كحياة رئيسية في الصخور تحت أقدامنا.

تستمر الطبيعة في تجاهل الإنسان. وقد أوقف بروتوكول مونتريال عام 1987 إنتاج المواد الكيميائية الأكثر تدميراً للأوزون واستهلاكها والعديد منها سيبقى في الغلاف الجوي لعقود. وتعتمد طريقة التحليل والأمد الزمني للتحليل على طول موجة الضوء التي يمكن للجُزَيء أن يمتصها. وإن أحد الجزيئات الدقيقة، بيروكساید ديكلورين (Dichlorine peroxide) يبدو أنه يتحلل ببطء أكثر مما كان متصوراً[2158][2159][2160]. وهذا يعني أنه ليس من الممكن توليد ما يكفي من التحلل لشرح الفقدان الملاحظ للأوزون. وكل شيء كان في الماضي بكامل الصورة الحالية يطابقها بشكل جيد، عاد الآن إلى لوح الرسم من جديد. وهذه هي طبيعة العلوم.

(2153) K. A. Johnson and D. E. Johnson, «Methane Emissions from Cattle,» *Journal of Animal Science*, vol. 73 (1995), pp. 2483-2492.

(2154) V. H. Varel, H. R. Isaacson and M. P. Bryant, «Thermophilic Methane Production from Cattle Waste,» *Applied Environmental Microbiology*, vol. 33 (1977), pp. 298-307.

(2155) J. H. Hackstein and C. K. Stumm, «Methane Production in Terrestrial Arthropods,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 91 (1994), pp. 5441-5445.

(2156) P. R. Zimmerman, «Termites: A Potentially Large Source of Atmospheric Methane, Carbon Dioxide, and Molecular Hydrogen,» *Science*, vol. 218 (1982), pp. 563-565.

(2157) W. E. Balch [et al.], «Methanogens: Reevaluation of a Unique Biological Group,» *Microbiological and Molecular Biological Reviews*, vol. 43 (1979), pp. 260-296.

(2158) F. D. Pope [et al.], «Ultraviolet Absorption Spectrum of Chlorine Peroxide, ClOOCl,» *Journal of Physical Chemistry*, A111 (2007), pp. 4322-4332.

(2159) L. T. Molina and M. J. Molina, «Production of Cl_2O_2 from the Self-Reaction of the ClO Radical,» *Journal of Physical Chemistry*, vol. 91 (1987), pp. 433-436.

(2160) J. C. Farman, B. G. Gardiner and J. D. Shanklin, «Large Losses of Total Ozone in Antarctica Reveal Seasonal CLO_x/Nox Interaction,» *Nature*, vol. 315 (1985), pp. 207-210.

الغيوم

إن علوم المناخ مُربَكة بالغيوم. وإن ما نفهمه عن الغيوم ليس كافياً للقول إن كان لها أثر ابتراد أو احترار على الأرض. ويمكن لتغير في الغطاء الغيمي ولو بنسبة 1 في المئة أن ينتج تغيرات كبيرة بحجم الادعاءات المبالغ بها التي تدّعي أنها تُستمد من إضافة الإنسان لـ CO_2 في الغلاف الجوي. ولا تأخذ نماذج المناخ الغيوم مأخذ جد، كما لا يعتبر الضباب والسديم (Mist)، اللذان لهما نفس أثر الغيوم. وقد لحظت أن بخار الماء، وبخاصة الغيوم، مصادر رئيسية للشك في نماذجها. كذلك رفضت هذه النماذج دور الإشعاع الكوني الذي يُحدث الغيوم منخفضة المستوى. وتزاماً، تروج IPCC لاستنتاجات مبنية على نماذج كمبيوترية معقدة تستعمل افتراضاتٍ مشكوكاً فيها، وبياناتٍ غير مكتملة، وفهماً ضعيفاً لكيفية عمل الكوكب.

ينظر القمر الصناعي الفرنسي (Calipso)، وكلاودسات (CloudSat) الذي أرسلته ناسا، حالياً إلى غيوم ومن خلالها لمحاولة زيادة دقة نماذج الطقس. وتعتبر نماذج المناخ الغيوم عاملاً كامناً وCO_2 الغلاف الجوي عاملاً نشيطاً. أما استعمال نماذج بلا غيوم، أو نماذج مع فهم مبتسر بالغيوم، لتوقع المناخ بعد 100 عام من الآن فهو أمر يستحق النسيان. إن أثر الغيوم سهل الاختبار، تمشَّ خارجاً، تجد أن الجو أبرد في يوم غائم بسبب انعكاس الطاقة الشمسية الراجعة إلى الفضاء. وفي ليلة غائمة استوائية، يكون الجو دافئاً لأن الحرارة المشعة من الأرض رجوعاً إلى الفضاء يمسكها بخار الماء. وفي خط العرض نفسه في الصحراء، وفي ليلة لا غيم فيها، يكون الجو بارداً جداً بسبب نقص بخار الماء في الغلاف الجوي الذي يمسك بالحرارة المنعكسة رجوعاً. ويمكن للغيوم الرفيعة في الارتفاعات العالية أن تدفئ الأرض؛ فعلى سبيل المثال، غيوم الطخرور الخفيفة (Cirrus Clouds) وهي في درجة حرارة 40 مئوية تحت الصفر تشع حرارةً أقل في الفضاء، لكنها تحتجز تحتها حرارة أكبر.

إن معظم الغيوم تبرد الأرض وتخفض مقدار الأشعة الشمسية الداخلة إليها بنحو 8 في المئة. وإذا أزيلت الغيوم، فسترتفع حرارة الأرض بـ 10 درجات مئوية. تغطي الغيوم الكثيفة في الارتفعات المتوسطة حوالى 7 في المئة من الأرض في أيّ وقت، بينما تغطي الغيوم منخفضة المستوى نحو 30 في المئة من الأرض. وهي توقف وهج أشعة الشمس، وتشع الطاقة الشمسية رجوعاً إلى

الفضاء فهي مسؤولة عن نحو 60 في المئة من ابتراد الأرض. وتشكل غيوم الستراتوسفير البركانية (Strato-Cumulus) من هذه الغيوم التي توجد على نحو رئيسي فوق المحيطات حوالى 20 في المئة من غطاء الأرض. وتستعمل توقعات الأرصاد الجوية التلفزيونية اليومية معلومات عن الغيوم من الأقمار الاصطناعية، وكانت صور الأقمار الاصطناعية منذ عام 1966 قادرة على إنتاج توقعات جوية أدق وأعلى جودةً وأكثر شمولاً. وتبين قياسات الغيوم تغيرات ثابتة في الغيوم مع تغيرات كبيرة خلال أحداث «إل نينو».

إن جميع غازات الدفيئة باستثناء بخار الماء، موجودة في الغلاف الجوي بتراكيز أثرية ويتجه بخار الماء إلى تغيير درجة الحرارة بدلاً من تسبيبها. وفي درجات الحرارة العالية هناك مزيد من التبخر ومزيد من بخار الماء. وضمن درجات الحرارة المنخفضة، يحدث العكس. وإن بخار الماء عامل مكبر بدلاً من كونه عاملاً محفزاً. ويمكن وضع ذلك قيد الاختبار بسهولة؛ فالجو يكون دافئاً في النهار ومعتدلاً في الليل في منطقة ساحلية رطبة مع سماء صافية. وفي ذات الداخل البعيد عن خط الاستواء، حيث تكون السماء جافة، يكون الجو حاراً في النهار وبارداً في الليل. وتتسم العصور الجليدية والمناطق القطبية الباردة بهواء جاف بارد.

هناك نقاش يسمع كثيراً، يقول: إن جفاف السماء الصافية المتعلقة بالحرارة وتزايد الأمطار الشديدة هي دلائل على تغير المناخ الذي يسببه الإنسان، وكلاهما يتعلق بالغيوم. وإن لمشروع علم مناخ الغيوم الممهد بالأقمار الاصطناعية الدولية (The International Satellite Cloud Climatology Project) (ISCCP) سجلاً متعدد العقود عن التغيم[2161]، الذي يبيّن أن نماذج المناخ الكمبيوترية التي أقحمت التغيّم هي برامج خاطئة.

اكتشف مؤخراً (عام 2001) ثقب حراري يقع في القسم الأدفأ من المحيط الهادي، وهي المنطقة الأكثر دفئاً على سطح الكوكب، وبعد تحليل دام عامين تقريباً لبيانات قمر اصطناعي خاصة بغطاء غيمي ودرجات حرارة سطح البحر، وجد أن الثقب يُفتح لإصدار حرارة عندما ترتفع درجة حرارة سطح البحر، وينتج

(2161) A. T. Evan, A. K. Heidinger and D. J. Vimont, «Arguments against a Physical Long-Term Trend in Global ISCCP Cloud Amounts,» *Geophysical Research Letters,* vol. 34 (2007), LO4701.

من ذلك تناقص في الغيوم العلوية فوق المحيط الهادي الاستوائي الغربي عندما تكون درجات حرارة سطح البحر أعلى[2162]. وتؤكد نتائج هذه الدراسة نتائج دراسات أبكر[2163]، وأخرى لاحقة[2164][2165][2166]. وكما هو الحال مع جميع الأفكار الجديدة، شحنت فكرة الثقب الحراري نقاشات أخرى[2167][2168][2169]. هذا ويسبّب التناقص في الغيوم العليا مزيداً من قطيرات الغيوم التي تشكل قطرات المطر، والقليل منها يبقى في الغيوم ليشكل بلورات جليدية، وإن غيوم الطخرور ذوات البلورات الجليدية هذه واقيات ضعيفة ضد الشمس وعوازل جيدة، وبالتالي فإن تناقصاً في مساحة الغيوم يسمح لمزيد من طاقة الحرارة أن تترك الغلاف الجوي. وإن مقدار الحرارة التي تسربت إلى الفضاء في ثمانينيات وتسعينيات القرن العشرين تعادل الافتراضات التي بنيت على نماذج تخص كسب الحرارة الجوية في حالة وجود مضاعفة فورية للـ CO_2 الجوي.

تستمر الطبيعة تفاجئنا، وتقلل من شأننا، وتستخفّ بنا، ويبيّن كلّ اكتشاف جديد أن العلوم لا تصل إلى نهاية مطلقة قط.

(2162) R. S. Lindzen [et al.], «Does the Earth have an Adaptive Infra-Red Iris?,» *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 82 (2001), pp. 417-432.

(2163) Y. C. Sud, G. K. Walker and K. M. Lau, «Mechanism Regulating Sea-Surface Temperatures and Deep Convection in the Tropics,» *Geophysical Research Letters*, vol. 26 (1999), pp. 1019-1022.

(2164) Q. Fu, M. Baker and D. L. Nartman, «Tropical Cirrus and Water Vapour: An Effective Earth Infra-Red Iris Feedback?,» *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 2 (2002), pp. 31-37.

(2165) J. Chen, B. E.Carlson and A. D. Del Genio, «Evidence for the Strengthening of the Tropical General Circulation in the 1990s,» *Science*, vol. 295 (2002), pp. 838-841.

(2166) B. A. Weilecki, «Evidence for Large Decadal Variability in the Tropical Mean Radiative Energy Budget,» *Science*, vol. 295 (2002), pp. 841-844.

(2167) D. L. Hartmann and M. L. Michelsen, «No Evidence for Iris?,» *Bulletin of the American Meteorological Society,* vol. 83 (2002), pp. 249-254.

(2168) R. S. Lindzen [et al.], «Comments on «No Evidence for Iris»,» *Bulletin of the American Meteorological Society,* vol. 83 (2002), pp. 1345-1348.

(2169) M.-D. Chou, R. S. Lindzen and A. Y. Hou, «Comments on the Iris Hypothesis: A Negative or Positive Cloud Feedback?,» *Journal of Climate*, vol. 15 (2002), pp. 2713-2715.

الفصل الثامن

وأنـا

حيثما يوجد الشك توجد الحرية[2170].

إننا نواجه أعظم تهديد عالمي عرفته خلال عمري الذي بلغ اثنين وستين عاماً. ولا أقصد بالتهديد الاحترار الكوني بحد ذاته. إنما منشأ هذا التهديد الذي هو ردود الفعل في الخطط السياسية على الاحتباس الحراري الكوني المحسوس، والتي لم تَعطِ الأمر الاهتمام الضروري. وفق ذلك تشكل هذه السياسات خطراً على الحريات وطبيعة العلم والدين. كما إن للتغيرات في الخطط السياسية القدرة على انقاص مقدار الطاقة الأساسية للكهرباء التي تمثل سنداً للتوظيف ومستوى المعيشة.

هناك صرخات تطالب بمحاكمة هؤلاء العلماء وسجنهم، أعني أولئك الذين لم يوافقوا، رغم الدليل العلمي على أن انبعاثات الإنسان غيّرت المناخ. وقد أطلق على هؤلاء العلماء تسمية «المنكرين» ليقارنوا بمنكري الهولوكوست (المحرقة النازية)[2171]. غير أن شكوكهم العلمية لم تناقش. ويطالب بعض أنصار البيئة المحامين عن الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان بمحاكمات من نوع نورمبرغ للمعارضين لمسألة تسبّب الإنسان بالاحتباس الحراري[2172]. ويعتبر

(2170) مثل لاتيني.

(2171) «في كل مكان تقريباً، يبدو إنكار تغير المناخ غبياً وغير مقبول مثل إنكار الهولوكوست.» جورج مونبيوت، كاتب عن البيئة، *Guardian* (21 September 2006).

(2172) «عندما أصبحنا جديين في قضية الاحترار الحراري، عندما تكون الآثار موجعة لنا ونكون في =

أولئك الذين تمتعوا بالمنافع الضخمة في الأنظمة الشيوعية التوتاليتارية، أن الحركات الخضر في البلاد الديمقراطية، بأنها تدمر الحريات التي انتزعت بصعوبة[2173].

إن العالم يحتبس، قليلاً وبشكل متقطع، منذ العصر الجليدي الصغير، كما إنه يبرد. وهذا ليس مفاجئاً ومتوافقاً مع ما نقيسه من الماضي. وإن مستوى سطح البحر وصفائح الجليد والحياة على الأرض قد تغيرت أيضاً، وإن كان ببطء. وهذا متوافق أيضاً مع ما نقيس عليه من الماضي. ولا تحترم التغيرات الطبيعية السياسة أو المعاهدات أو سياسات الإصدار. وإذا كان هناك تغيرات مناخية سببها الإنسان حقاً، فإننا غير قادرين على فصلها عن التغير الطبيعي. فكم عاماً يجب للكوكب أن يبرد قبل أن نعترف بأن الكوكب لا يحتبس؟ وإن الاحترار الكوني الملاحظ خلال 150 عاماً خلت هو فصل واحد فحسب في فيلم تاريخ الأرض.

لقد أُرعِبَت الدول الغربية رعباً لا معنى له من الاحترار الكوني غير المتوقف والمتعلق بإضافات الإنسان للـ CO_2 إلى الغلاف الجوي. وهناك خوف منتشر، يظهر أحياناً بأمراض طبية. وأعتقد كثيرون في المجتمعات الغربية أنهم قد قُضِي عليهم. وكان هناك تقبل غير نقدي وغير عقلاني فيما يتعلق بالحملات الإعلامية الخاصة بتغير المناخ الكارثي. وإن التفكير النقدي عند الكثير محرم[2174]. وهناك إدراك الآن أن ليس من السهل قطع الانبعاثات والحفاظ على مجتمع مستقر، وأن توليد الكهرباء من الرياح وأشعة الشمس لا يعتمد عليهما، وأنها مكلفة جداً وتضيف القليل من قوة الحمل الأساسية، وأن إنتاج الوقود الحيوي مدمر جداً للبيئة ويحدث نقصاً في الغذاء، وأن الاقتصادات النامية مثل الصين والهند ستصدر كميات كبيرة من CO_2 إلى الغلاف الجوي، على الرغم من قرارات دول أخرى. وإن الفقدان الكامن للتنافس الصناعي يجعل

= زحف عالمي كلي لتخفيض الخراب، ينبغي أن نحصل على محاكمات لجرائم الحرب لهؤلاء الكاذبين- بعض أنواع مناخ نوربرغ». غرستمل، الكتابة البيئية في دعم جورج مونبيوت في: <http://gristmill.grist.org>, 19 September 2006.

(2173) Vaìclav Klaus, *Blue Planet in Green Shackles: What is Endangered: Climate or Freedom?* (Washington, DC: Competitive Enterprise Institute, 2008).

(2174) «كثير من الناس يفضلون الموت على التفكير. وإنهم يفعلون ذلك حقاً». برتراند رسل (Bertrand Russell).

دولاً عديدة تقول الآن إنها لن توقّع على معاهدة ما بعد كيوتو إلا إذا وقّعت الصين والهند والولايات المتحدة الأميركية عليها.

إن التحرر من الأوهام يتوطد لأن المبدأ يقول إنه كلما ارتفع CO_2، ترتفع درجة الحرارة. وقد كان هناك ارتفاع في CO_2، غير أن الابتراد يحدث، ولم يقع الاحترار الكوني الخطير. وبدأ السياسيون يلاحظون أن ضرائب الكربونات وكوارث تجارة الصادرات في إطار زمني انتخابي أقصر من الاحترار المتوقع، وأن كبار الخاسرين هم علماء المناخ الذين لم تعد نصيحتهم تتبع. ولقد بالغوا في اللعب بأيديهم، ولم يعد صانعو القرارات يثقون بنصيحتهم.

يحتاج السياسيون إلى مساحة من الالتواء لظروف متغيرة غير متوقعة. وكان بعض علماء المناخ يقولون للسياسيين إنه ليس هناك خيارات، ويجب وضع جميع البيض في سلة واحدة. وإذا اعتقد السياسيون أنه يمكن تغيير الاقتصاديات الصناعية الرئيسية خلال بضعة عقود إلى اقتصاديات كربونات منخفضة، فهناك حقيقة مُرّة. ويواجه السياسيون هذه الحقيقة في كل انتخاب، أما علماء المناخ فلا. والسياسة هي فن الحل الوسط، وعقد اتفاقات واستعمال الابتزاز. وعندما تتغير الحال والحقائق، تتغير السياسة. وعندما تتغير الحقائق، لا تتغير الإيديولوجية الخضراء المتطرفة ولا السياسة ولا الضغط. وتحدث الإيديولوجية الخضراء والضغط السياسي في نطاق خال من العلوم. ولقد واجه السياسيون نظرية علمية غير ناضجة لأنهم يقذفون بمجموعات ضغط بيئية ومجموعة واحدة من العلماء لديهم كل شيء ليكسبوه، وقد تم هذا على حساب الدلائل العلمية المتعددة المتكاملة.

قال الدكتور باتريك مور (Dr. Patrick Moore)، مؤسس غرينبيس[2175]: إن الحركات الخضر أخذها الماركسيون الجدد الذين يروجون ضد التجارة، وضد العولمة وضد الحضارة. ويخاف المواطن العادي من الاحترار الكوني، وهو قلق على مستقبل الجيل الجديد ويشعر بالعجز. ويريدون فعل شيء، ويريدون من الحكومات أن تفعل شيئاً، ولهذا فإن الحكومات رضخت لضغط الخضر. وقد انضم مواطنون حسنو النية إلى مجموعات مثل غرينبيس من أجل محاولة القيام بشيء ملموس، غير مدركين أن قادة مجموعات كهذه أضلوا السياسيين

(2175) <http://www.greenspirit.com.index.cfm>.

ومستشاريهم علمياً وخدعوهم. فلماذا لا يجب لقادة الحركات الخضر أن ينجزوا الحكومة الأخلاقية نفسها وتوفير الاجتهاد المطلوب للقانون، كمديري شركة؟

لقد جعلت الحكومة العمالية في المملكة المتحدة منذ 1997 تغير المناخ أولويةً أولى، غير أنها لم تكن قادرة على تخفيض انبعاثات CO_2 خلال العقد الأخير. وإن إيديولوجية حزب العمال والحقيقة أمران متباينان. وإن حكومة المملكة المتحدة تتراجع الآن عن وضع أحدثوا فيه تكاليف أكثر لناخبيهم الرئيسيين، غير أن الطبقة السياسية ترفض. وقد وضعت الحكومة البريطانية وغيرها من الحكومات الديمقراطية نفسها في موقع صعب لأن الخدمة المدنية أصبحت مسيّسة، وتحصل الحكومات على نصائح تتوافق مع إيديولوجيتها بدلاً من النصيحة الحرفية النزيهة. وهذا إخفاق للحكومة وليس عملية تأخذها أي شركة في اتخاذها قراراً لعمليات متعددة المليارات من الدولارات.

لو قرأت الحكومات النسخة الأولى من الفصل الخامس للـ AR4 للـ IPCC (Humans Responsible for Climate Change)، لأدركت أنها مبنية على آراء خمسة علماء مستقلين فقط. وتخطط الحكومات لتغيير اقتصاديات أممها بنيوياً حيث سيعاني معظم الناس ضرائبَ وتكاليفَ مرتفعة، وقلّة هم الذين سيزدهرون، بناءً على رأي خرافيين خمسة لم تكن نماذج كمبيوتراتهم قادرة على التوقع بدقة الابتراد الذي حدث منذ 1998، وترك الإدراك العام في وجه الضغط غير المنتهي من مجموعات الخضر.

لقد أدرك بعض السياسيين الألمع ذكاءً أنه لم يكن هناك احترار كوني لا سابق له، وأن المناخات تتغير دائماً، وأن هناك تغيرات في دورات المناخ، وأن هناك علاقة صغيرة بين CO_2 والمناخ، وأنه ليس هناك إجماع للعلماء، كما أن التغيرات البنيوية الواسعة للاقتصاد قد تكون انتحاراً اقتصادياً وانتخابياً. حتى السياسيون الألمع ذكاءً يتبعون المال وينظرون بترقب إلى اهتمامات المجموعات الخضر والعلماء المناصرين للاحترار الكوني الذي يسببّه الإنسان. ويجب لهؤلاء السياسيين أن يتساءلوا: كيف تفسرون عدم ارتفاع درجات الحرارة حسب IPCC منذ 1998، وأنه لم يكن هناك احترار بارز منذ 1995؟ وهل أنت مدرك أن IPCC حتى لا تعتبر نماذج المناخ «توقعات» وإنما «سيناريوهات إصدار»؟ وهل أنت مدرك أن الدراسات العديدة من العلوم والتاريخ بيّنت أن الجو في احترار العصور الوسطى كان أدفأ من اليوم، وكان ذلك زمناً لا سيارات فيه ولا

صناعة؟ فكيف تفسر القول بأن مستويات CO_2 كانت أعلى بكثير في تاريخ الأرض، ولم تتزامن مع انقراضات وأزمنة دافئة؟ ولماذا بردت غرينلاند منذ أربعينيات القرن العشرين؟ ولماذا كان القطب الشمالي أدفأ من الآن في عشرينيات القرن العشرين وثلاثينياته؟ لماذا اتسع جليد بحر القطب الجنوبي لمستويات تسجل في السنوات الحديثة؟ ولماذا اتسع جليد بحر القطب الشمالي منذ 2008؟ وهل يمكنك تفسير سبب عدم تعلق انخفاضات جليد بحر القطب الشمالي عام 2006 و2007 بانبعاثات من صنع الإنسان لـ CO_2؟ وإذا كان CO_2 العالي يحدث احتراراً كونياً، فلماذا كان CO_2 أعلى بكثير من الآن خلال أربعة تجلدات على الأقل؟ وهناك مئات الأسئلة التي يجب طرحها.

وضعت IPCC نفسها في زاوية مع تركيزها الضيق لأنها منظمة سياسية. فلهذه المؤسسة دعم حكومي ومن الأمم المتحدة، غير أنها تتجاهل المناطق العلمية التي تختبر قوى مناخية أخرى. ولقد تجاهلت IPCC أساساً دور التغير المناخي الطبيعي. وفي مجالات أخرى من العلوم، إذا لم يمكن إثبات النظرية فسوف يبحث أحدنا عن تفسير بديل. ويبدو أن التغير الطبيعي للمناخ لم يعتبر تفسيراً بديلاً للتغيرات الملاحظة.

منذ أن تأسست IPCC قبل 20 عاماً، لم يكن هناك أي إظهار للاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان، وعلينا ترك IPCC (ومعاهدة كيوتو) لبرهة الآن. فلقد أظهرت نماذج المناخ نطاقات سريعة الزوال وارتفاع في وCO_2، وعندما تستعمل إدخالات مختارة إلى نماذج الكمبيوتر، تُنتج الأجوبة الصحيحة تقريباً حتى عام 1997 ودلّت النماذج على احترار ثابت حتى نهاية الزمن. غير أن كُلاً من الابتراد ما بعد 1998 وأحداث إل نينو لم يتم توقعها. وهذا يبيّن أن نماذج الكمبيوتر هي مجرد ألعاب كمبيوتر معقّدة مع إدخال مبني على ميول المبرمج. وتوقعات المناخ ليست دلائل، كما إنها غير ملائمة للتخطيط البيئي أو السياسي، وإن رفض المناخ اتباع نماذج كمبيوتر IPCC في الحقيقة المروعة للطبيعة. وليس الأمر عدم عمل نماذج الكمبيوتر فحسب، فهي، كما يلاحظ فريمان دايسون (Freeman Dayson)، «مليئة بعوامل غش ومراوغة ولا تعنى بشرح العالم الحقيقي»[2176].

(2176) <http://www.abc.net.au/rn/inconversation/stories/2008/2444172.htm>.

إنه من المدهش اعتماد محبذي الاحترار الكوني الشديد على نماذج الكمبيوتر وتجربتهم العلمية ضحلة، غير أن المعالجة البارزة وبيانات المصدر ونقص استعمال متغيرات كثيرة معروفة يفاقم الشك، ويمكن أن ينتج النتاج المقدر قبل تشغيل النموذج. وهذا خطأ شائع للنماذج الرياضية. ولا تثبت النماذج مع المحاكاة والإسقاطات والتوقعات أي شيء؛ فكلّ ما يبيّنه النموذج هو أمر يتعلق بالنموذج نفسه، وحدوده عادة. ويستمد تجميع البيانات في العلوم من الملاحظة، والقياس والتجربة عادةً، وليس من النماذج. ولا يمكننا جعل الطبيعة تطابق نماذج الكمبيوتر العملية. والكوارث المناخية تحدث باستمرار، وسوف يستمر حدوثها، بغضّ النظر عن أيّ نموذج استعمل.

تخبرنا النماذج بالمزيد عن الاهتمامات المنظمة المكشوفة للمجموعات، أكثر مما تخبرنا به عن المناخ الحاضر أو المستقبل. وعلينا النظر إلى نماذج مخفقة سابقة بسيناريوهات مرعبة فقط.

كان إدوارد لورنز (Edward Lorenz) (1917 ـ 2008)، أحد أول واضعي نماذج المناخ، وأول من ناصر فكرة نظرية التشوش[2177]. بيّن لورنز أن تغيرات صغيرة جداً في ما يدخل إلى نماذج الكمبيوتر أنتجت نتائج غير متوقعة، ولكن يمكن إعادة إنتاجها. واستنتج: «إن التوقع لأي مستقبل بعيد بشكل كاف هو أمر مستحيل بأية طريقة، إلا إذا عرفت الظروف الحالية تماماً.» لم يتغير شيء.

تم إجراء خمس محاكاة للمناخ العالمي للفترة بين عام 1860 و2000 باستعمال نماذج التدوير العامة نفسها التي تستعملها IPCC، وكانت لكل محاكاة ظروف أولية مختلفة قليلاً، غير أنها كانت، خلافاً لذلك، هي نفسها. ونتج من اختلافات صغيرة جداً في الظروف الأولية للمناخ تغيرات كبيرة في المناخ اللاحق[2178]. ولما كنّا لا نعرف تماماً الظروف الأولية، فيمكن للتغيرات أن تنشأ من تغيرات داخلية في نظام الكمبيوتر أو من تغيرات خارجية غير معروفة. وإن ما نعرفه هو أن العمليات الطبيعية ديناميكية، وغير خطية ومشوّشة، بينما محاكاة الكمبيوتر مبنية بشكل عام على أنظمة غير خطية بسيطة. وهذه هي بعض

(2177) E. Lorenz, «Deterministic Nonperiodic Flow,» *Journal of Atmospheric Science*, vol. 20 (1963), pp. 130-141.

(2178) T. L. Delworth and T. R. Knutson, «Simulations of Early 20th Century Global Warming,» *Science,* vol. 287 (2000), pp. 2246-2250.

أسباب كون علاقة إسقاطات تغير المناخ من نماذج الكمبيوتر ضعيفة بالعالم الحقيقي. ادعت IPCC، في السنة التي تلت نشر المحاكاة الخمس في العلوم، في تقريرها، بناءً على محاكاة نموذج الكمبيوتر، أن للمناخ تغيراً محدوداً فقط، وبالتالي لم يكن ديناميكياً وغير خطي ومشوّش.

تنتج نماذج الكمبيوتر المعقدة ما يسمى «توقعات»، تبدو كأنها حقيقية. وهي نماذج تحاول أن تظهر مناخ المستقبل بناءً على مدخلات غير مكتملة، ومحاولات للتعامل مع متغيرات غير خطية في نظام ديناميكي، ومع افتراضات كثيرة جداً. وتصل نماذج الكمبيوتر للمناخ إلى عبارة دينية من واضع النموذج تحكي عن اعتقاده في كيفية عمل جزئه الصغير من العالم. وتتعامل نماذج المناخ العالمية مع تفاعلات بين الغلاف الجوي ـ المحيط ـ اليابسة، بينما يتم تجاهل المتغيرات مثل الشمس والكون والبكتريا والتاريخ والعمليات الجيولوجية التي تحدث تحت أقدامنا.

على الرغم من أن نماذج المناخ العالمي تطورت وهي قادرة الآن على وضع توقعات عن الطقس قبل أسبوع، غير أنها ليست قادرة على وضع توقعات موسمية أو سنوية. وعندما يضاف متغير الزمن إلى التوقعات، يصبح الاعتماد عليها أقل؟ إذن كيف يمكننا أن نثق بتوقعات مناخ عالمية لمئة عام مقبلة عندما لا يمكن للنماذج نفسها أن تعكس توقعات مداها أقصر؟ ولجعل الأمور أسوأ، لا يبدو أن لصانعي النماذج أنفسهم ثقة كبيرة في نماذجهم.

تقول CSIRO التابعة لأستراليا عن توقعات المناخ ما يلي: إن الإسقاطات مبنية على نتائج من نماذج كمبيوتر تشمل تبسيطاً لعمليات فيزيائية حقيقية ليست مفهومةً فهماً تاماً. وبناءً على ذلك، لن تقبل أي مسؤولية من (CSIRO) لدقة الإسقاطات المستدلة من هذه الدراسة أو من أي تأويلات أو استدلالات أو استنتاجات أو تصرفات من أي شخص يعتمد على هذه المعلومات.

لست بحاجة إليّ كي تعبّر عن تحفظات حول نماذج المناخ. فلقد قام بذلك صانعو النماذج بأنفسهم. فضلاً على أن الدلائل العلمية المقدمة في هذا الكتاب تبيّن وجود عوامل أخرى إلى جانب CO_2 تحرك المناخ. وتجلب هذه البيانات المتضاربة شعوراً غير مريح عند مناصري الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان، وبالتالي فإنهم يلغون الدلائل البديلة في عمل متحد من التنافر الاستيعابي. غير أن الوقائع تبقى وتخفق التوقعات.

إن المختصين بالاحترار الكوني مدفوعون بهوس أن لديهم مهمة لإنقاذ العالم. ولسوء حظهم، فإن الطبيعة لا تقبلهم. وإنه من المستحيل إيديولوجياً، لكثير من البيئيين المسافرين عبر طريق الإنقاذ الأكيد، الاعتراف بأن الكوكب ديناميكي وأن تغيرات طبيعية ماضية أكثر من أي شيء مقاس في الأزمنة الحديثة. ويحتل الطقس الحياة اليومية، ولبضعة عقود ماضية، بُدِّل الطقس بالاحترار الكوني؛ وعندما لا نشوى أحياء استبدل الاحترار الكوني بتغير الطقس. وعندما لم يتغير المناخ العنيد، تم إنزال قدر اللغة ونسب الأمر إلى التلوث بالكربون، وبصمة الكربونات، والاقتصاد الخالي من الكربون. وأثناء ذلك، كان الكوكب يفعل ما يفعله دوماً ـ التغيير.

لا يمكنك أن تنخرط في مناقشة السياسة الكبرى للعقود القليلة الماضية، ثم لا تسمح لطرف بالحوار. غير أن هذا هو ما يحدث. ولقد شجع ذلك الناشطين الخضر أن يقدموا نصائحم إلى وزراء الحكومة للانتقال إلى المهزلة، ويعرّض السياسيون أنفسهم إلى السخرية. وفي قمة حديثة للدول الثماني (G8 Summit)، حاولت المستشارة الألمانية أنجلا ميركل إقناع قادة العالم بلعب دور الإله بتقييد انبعاثات CO_2 إلى مستوى يحدّ من ارتفاع درجة الحرارة العالمية بدرجتين مئوية، ولا يمكنها أن تكون فعلاً بهذا الغباء؟ وربما كانت كذلك؟

إليك مثال آخر. نشرت بني وونغ (Penny Wong) من أستراليا عام 2008، وهي وزيرة تغير المناخ والمياه، ورقة خضراء احتوت على جملة افتتاحية[2179]، فيها سبعة أخطاء علمية. وإن عمل خطأ واحد في كل ثلاث كلمات يجب أن يكون رقماً قياسياً مميزاً. لقد أخضعت الوزيرة رقم العنصر 6 في الجدول الدوري للعناصر إخضاعاً خاطئاً. فهل معرفتها العلمية ضعيفة جداً حتى أنها لا تعرف أن الكربون أساسي للحياة على الأرض؟ وأن «تلوث بالكربون» يعني التلوث بعنصر الكربون، وليس بمركب ثاني أكسيد الكربون. وهكذا توالت هذه الترهات بلا نهاية، مع الحديث عن التلوث بالكربون وبصمات الكربون. وما لم تكن هذه الوزيرة تعيش في الهواء، فلها أن تعرف أنها تلوث جسمها كل يوم بالطعام الذي تأكله والمبني أساساً على الكربون. وإذا كانت هذه الوزيرة جادة

(2179) «يسبّب تلوث الكربون تغيّر المناخ، وينتج من ذلك درجات حرارة أعلى، ومزيد من الجفاف ومستويات بحر مرتفعة والمزيد من الطقس المفرط».

حقاً حيال التلوث بالكربون، فعليها أن تتوقف عن تناول الطعام.

لقد كانت هذه الوزيرة نفسها مسؤولة عن قضية حوض موراي ـ دارلينغ (Murray-Darling Basin)، التي أدت إلى جفاف طويل في أستراليا. فقد أدى سوء إدارة سياسي من حكومات أربع ولايات، ومن الحكومة الفيدرالية إلى انهيار الزراعة في حوض موراي ـ دارلينغ، سلة خبز أستراليا، وإلى نقص في ماء الشفة في مدينة كبرى. وبغضّ النظر عمّا دفعه المواطنون من ضرائب الكربون، فإنها لن تجعل المطر ينزل في حوض موراي ـ دارلينغ. ولقد مات حوض موراي ـ دارلينغ موت الآلاف من خطط الحكومة. والغريب أن الحكومات التي لم تتمكن من حل مشكلة إقليمية تدّعي الآن أنه يمكنها أن تغير المناخ العالمي!

تعجل إثمار العلوم

كان تروفيم ليسنكو (Trofim Lysenko) عالماً زراعياً غير بارز في الاتحاد السوفياتي. وقد ادعى أنه يستطيع إنقاذ الاتحاد السوفياتي بتعديل البيولوجيا بالطريقة نفسها التي أراد بها الشيوعيون أن يعدلوا السلوك الإنساني. وادعى أن معالجة البذور قبل الإزهار سيؤثر في سلوكها. وكان ليسنكو خبيراً بالدعاية، وتبجّح بأنه يستطيع زيادة إنتاج محصول القمح ثلاثة أو أربعة أضعاف. وأرادت الحكومة حينها أن تزيد إنتاج الغذاء؛ وتم تعيينه رئيساً لمؤسسة اتحاد لينين السوفياتية للعلوم الزراعية. وقال ليسنكو إن الخصائص الوراثية المتعارف عليها هي أساس اليوجينيات (علم تحسين النسل) الفاشية. وكانت معارضة ليسنكو لا تحتمل، فاتّهم اختصاصيي علم الوراثة المندليين بأنهم «محبو الذباب وكارهو البشر»، وقُتِل بين عام 1934 وعام 1940، الكثير من اختصاصيي علم الوراثة، أو أبعدوا إلى سيبيريا لكي يتمتعوا بالجوع هناك. وقد أُرسل فافيلوف (Vavilov) العظيم إلى سيبيريا، ومات جوعاً هناك عام 1943، وأخذ ليسنكو موقع فافيلوف مديراً لأكاديمية لينين للعلوم الزراعية. وتوقفت أبحاث علم الوراثة، بعد أن نُعتت عام 1948 بـ «علم البورجوازية الزائف».

بعد موت ستالين، دعم خروتشوف ليسنكو. وبعد ذهاب خروتشوف عام 1964، قامت أكاديمية العلوم بنقد مدمر لليسنكو. وقد مات أثناء ذلك، عشرات الملايين من البشر في الاتحاد السوفياتي بسبب سياسات ليسنكو الزراعية التي

لم تنتج طعاماً كافياً. تم بعدئذٍ رفع الحظر عن علم الوراثة، عام 1965، غير أن الاتحاد السوفياتي كان قد فقد 30 عاماً من التقدم في الزراعة[2180]. وقد رأيت ذلك في آب/أغسطس 1977 في الاتحاد السوفياتي عندما قدت السيارة من كاريليا السوفياتية إلى كاريليا الفنلندية؛ فعلى الرغم من أن التربة والمناخ متشابهان، إلا أن سنابل المحاصيل الفنلندية كانت طويلة ورؤوسها ممتلئة بالحبوب، فيما كانت السنابل السوفياتية قصيرة، متفرقة ورؤوسها منكمشة.

هناك سمات تشابه قوية بين ليسنكو وحركة الاحترار الكوني. فالترويج للتغير المناخي ازداد ارتجالاً وعلى طريقة مذهب ليسنكو (Lysenkoism)، فإنه من الأسهل فهم العلم سطحياً بدون الولوج في تعقيداته. فأصبح ثاني أكسيد الكربون الآن هو المُعادل البديل لعلوم الوراثة المندلية. فبعد أن أعطى جيمس هانسن (James Hansen) في حزيران/يونيو 1988 أدلة شجية إلى لجنة في الكونغرس الأميركي، لمع نجمه حتى أصبح مستشاراً للرئيس الأميركي في قضايا المناخ، ولآل غور وآخرين كثيرين مثل ليمان برذرز (Lehman Brothers Holding)، والخبراء الماليين العظماء، الذين رأوا في انبعاثات الكربون آلة مالية عالمية جديدة وغير منتظمة يمكنهم التحكم بها. وقد أفلست الآن شركة ليمان برذرز (Lehman Brothers).

وكان غور مديراً لشركة ليمان برذرز القابضة (Lehman Brothers Holding). وقد أسس غور مؤسسته «الخضراء»، إدارة استثمار الجيل (Generation Investment Management)، وهو عضو في مجلس إدارة شركة طاقة متجددة، وله دور في سلطات قضائية كثيرة، فإذا ألقى غور خطابات عن تغير المناخ ولم يعلن عن اهتماماته ومصالحه، فيكون قد ارتكب إساءةً جرمية. وقد ازداد زخم سلسلة الأحداث تلك عبر تأسيس مجموعة ذات هدف وحيد هي IPCC، ودعاية، عن طريق فيلم آل غور الخيالي في هوليوود «**حقيقة غير ملائمة**» (*An Inconvenient Truth*) و«عصا الهوكي» سيئة السمعة لمان، وتقارير اقتصادية محازبة (على سبيل المثال، شتيرن ريفيو، وغارنو) لقادة سياسيين شعبويين ووسائل إعلامية غير نقدية تسعى وراء قصص الرعب.

(2180) Helena Sheehan, *Marxism and the Philosophy of Science: A Critical History: The First Hundred Years* (Atlantic Highlands, NJ: Humanities Press, 1993).

إن برامج التجارة بالكربون والانبعاثات غنيمة هيّأها الله لهم. وسينتج من التشريع الجديد لانبعاثات pie-in-the-sky (فطيرة ـ في ـ السماء) زيادة في الدفع العام لكل شيء، وستكون برامج التجارة مبنية على سلعة أسطورية. ولكن خططاً كهذه لا تصمد أمام اختبار الزمن، وسوف تتطلب تعديلاً مستمراً. إن فرص الخداع مثيرة. وستكون هناك أرباح كبيرة مستفادة من الفوضى وأعمال كثيرة على شاكلة شركة ليمان برذرز (الراحلة) التي هيّأت نفسها للقيام بالدور حتى النهاية. ولا يمكن للحكومات أن تقاوم فرصة مثل هذه لرفع المزيد من الضرائب، وزيادة البيروقراطية، ولفرض المزيد من النظم.

ولعل محاكم المملكة المتحدة وحدها هي التي ذكرت مجموعات الأخطاء العلمية في فيلم غور[2181]. وقد بيّن الفيكونت مونكتون أوف برنشلي (Viscount Monckton of Brenchley)، وهو خبير وشاهد في دعوى قانونية بريطانية تشجب فيلم «حقيقة غير ملائمة» أن في الفيلم 35 خطأ يشوه أو يبالغ، وكلها تتجه في اتجاه تحذيري غير مُبرّر، وإن الاحتمال الإحصائي أن تنمو جميع الأخطاء الـ 35 بالصدفة في اتجاه واحد هو واحد في 34 مليار.

وعدّد القاضي في هذه القضية تسعة تعارضات رئيسية تختلف جميعها عن البيانات العلمية (ظاهرة هنا بين قوسين). فقد ادعى غور أن مستوى سطح البحر سيرتفع 20 قدماً (قد تضيف غرينلاند والقطب الجنوبي 2.5 إنش لمستوى سطح البحر من المياه المنصهرة خلال 100 عام)، وعلى سكان منطقة المحيط الهادي أن يهاجروا (لم يتغير مستوى المحيط الهادي) وسيتوقف دوران تيارات ثرموهالين (Thermohaline) (قد يتباطأ دوران ثرموهالين)، وستحدث تزايدات CO_2 ارتفاعاً في درجة الحرارة (الزيادة في CO_2 يتبع التزايد في درجة الحرارة)، ويذيب الاحترار الكوني مجلدات كليمانجارو (Kilimanjaro)

(2181) (أ) فيضانات في 18 دولة، بالإضافة إلى المكسيك: أربعة أخطاء (ب) سيتلاشى غطاء جليد القطب الشمالي خلال 5 إلى 7 سنوات: ستة أخطاء (ج) تسبب نيران الغابات دماراً: خمسة أخطاء (د) كثير من المدن تنقصها مياه: أربعة أخطاء (هـ) المزيد من العواصف الشديدة: ستة أخطاء (و) فقد غرب أنتاركتيكا مساحة من الجليد بمساحة كاليفورنيا: أربعة أخطاء (ز) تنمو الصحاري: ثلاثة أخطاء (إتش) يرتفع مستوى البحر: ثمانية أخطاء (ح) إن ثاني أكسيد الكربون هو تلوث الاحترار الحراري: سبعة أخطاء (ط) لقد خبر فينوس بيتاً زجاجياً جارياً ويقول الاتحاد الأوروبي إن الأرض كوكب شبيه لفينوس: أربعة أخطاء (ك) إن تقارير الـ IPCC إجماعية: خمسة أخطاء (ل) أجرى سفانتي أرهنيوس (Svante Arrhenius) 10000 حساباً قبل 116 سنة، مبيناً أن درجة الحرارة سترتفع عدة درجات استجابةً لمضاعفة: CO_2 أربعة أخطاء.

(حصلت تغيرات بسبب تحولات مناخية طويلة الأمد وبسبب تقلص مساحة الغابات)، وأن الاحترار الكوني سيخفض مستوى المياه في بحيرة تشاد (إن شدة استخراج الماء والزراعة جففا بحيرة تشاد)، وكان إعصار «كاترينا» بسبب الاحترار الكوني (لا يمكن نسب أحداث معزولة قليلة التكرار إلى الاحترار الكوني)، وتموت الدببة القطبية وهي تحاول إيجاد الجليد (قتلت الرياح العالية أربعة دببة قطبية في منطقة كان ينمو فيها جليد البحر) وبيّض (bleach) الاحترار الكوني المرجانيات (بيّض «إل نينو» المرجانيات في عام 1998).

وضعت نسخة من كتاب مدرسي لفيلم **حقيقة غير ملائمة** للتداول في المملكة المتحدة، وكانت مليئة بجرعات غير قليلة من أخطاء صبيانية مضحكة؛ فقد وضعت صورة بعوضة، على سبيل المثال، بدل صورة زنبور طفيلي، وصورة ذبابة التسيتسي (Tsetse) تنقصها رِجْلان، وتمتد القائمة هكذا. وقد أعطى البرلمان النرويجي جائزة نوبل للسلام إلى «آل غور» لـ **حقيقة غير ملائمة** وللـ IPCC. وكان البرلمان النرويجي نفسه قد منح جائزة نوبل للسلام لياسر عرفات.

تدعي IPCC أن تقاريرها كتبها 2500 عالم، ولقد كتبها 35 عالماً حقاً، ويتحكم بها عدد أصغر. وقد نشأ «ليسنكو» جديد في الدوائر المناخية ـ وليس هناك جوائز تمنح لمن يحزر من هو. وتبعت مجموعات الخضر السياسية سريعاً الخط السياسي لتغير المناخ لأنه أعطاهم قوة كبيرة، وفي أماكن عديدة، أعطاهم توازن القوة السياسية. ولا يمكن لأي سياسي أن يتحدث ضد الاحترار الكوني لخوفه من أن يقال عنه إنه معادٍ للبيئة. وتمّ لوم الجفاف والفيضانات والعواصف والملاريا وحتى الابتراد في الاحترار الكوني، وتأسست بيروقراطيات كثيرة ومؤسسات أبحاث للتعامل مع تغير المناخ.

إن التشابه مع مذهب ليسنكو يكمن في أن الحركتين بدأتا من خلال المؤسسات السياسية، وكلاهما يدّعي أن العلم موطّد ونهائي، وأن ليس هناك ما يناقش. وإنهم يتجاهلون أو ينفون الدلائل من مجالات علمية أخرى، ويتجاهلون أو ينفون أمثلة تكون فيها التوقعات خاطئة، ويخضعون من يعارضهم للشيطان، ويربطون العلوم بالإيديولوجيا. وإن كلاً من الدليل والسبب ليس أساسياً، ولكلتا الحركتين آلية دعائية كبيرة، ويحدثان بيروقراطيات كبيرة حيث إن كثيراً من الناس لديهم أعمال مبنية على إيديولوجيا الحكم، مدعمين

بشعارات وحلول بسيطة مفروضة على الناس من أمر الإدارة. وبعد تكلفة إنسانية واقتصادية كبرى، استُبدِلَ ليسنكو بالعلوم الحقيقية، فالعلوم الحقيقية لا تخفى.

إن تقليعات العلوم (على سبيل المثال، علوم فرويد) وديكتاتوريي العلم (على سبيل المثال، ليسنكو) أمران شائعان. ويقزم هؤلاء العلوم إلى قضية واحدة، هي تجاهل الطبيعة المتكاملة والمتداخلة الاختصاصات للعلوم، وتجاهل الشكوك وربط أنفسهم بفكرة واحدة وعملية واحدة. ومع تغير المناخ، يُحَرك العلم بنماذج الكمبيوتر وإيديولوجيته. ويستعمل الكمبيوتر في العلوم لتحليل البيانات العلمية، وإن نماذج الكمبيوتر هي ليست بيانات. وإذا شوّهت نماذج الكمبيوتر البيانات بما هو كاف، فسوف تعترف البيانات بأيّ شيء، فإن نماذج الكمبيوتر لا تتطلب دقة علوم المشاهدة حيث تكون البيانات فيها مجمعة ميدانياً في ظروف طقس مريعة.

لا تتطلب «النماذج» دقة المنهج العلمي، والتذمر المستمر، وإنما شكوكاً صحية تبررها الملاحظات والقياسات والتجارب. والواقع، يبدو أن نماذج الكمبيوتر توضع من قبل طبقة رائدة تعمل في مكاتب مكيفة الهواء بعيدة عن ميدان الحقيقة. ويدّعي واضعو النماذج أنهم يستطيعون وضع نموذج لجميع العمليات المعقدة على الكوكب لتوقع المناخ بعد مئات السنين، غير أنهم في واقع الحال لا يستطيعون توقع أي شيء عن النقل السطحي للطاقة على الأرض: وهو «إلـ نينو». فإن العامة مربكون بنماذج الكمبيوتر التي تُعنى بتوقع المستقبل، ولا يستطيعون[2182] أن يفهموا كيف أخذت صناعة الاحترار الكوني دور تجميع البيانات الأولية في الميدان بالقياس والتجربة. وقد تعكس النماذج بساطة وجمال العلوم، ولكنها قد تعكس أيضاً جهلنا بتعقيد العمليات الطبيعية ودقتها، وقد يعكس هذا أيضاً العجرفة الإنسانية وطلاوة العلوم.

بُثّ برنامج راديو يستند إلى كتاب **حرب العوالم** (*The War of the Worlds*) لـ أتش. جي ويل (H. G. Well) كبرنامج خاص بعيد القديسين أو الهالوين (Halloween) في 30 تشرين الأول/أكتوبر عام 1938. وقد لعب أورسون ويلز (Orson Welles)، بإقناع، دور مراسل صحفي، وهو يصرخ: «المريخيون

(2182) Orrin H. Pilkey and Linda Pilkey-Jarvis, *Useless Arithmetic: Why Environmental Scientists Can't Predict the Future* (New York: Columbia University Press, 2007).

قادمون». وصدّقه كثير من المستمعين الذين لا يستطيعون التمييز بين العلوم الطبيعية وعلوم الخيال، صدّقوه وأصابهم الرعب. فإن تغير المناخ قضية مملوءة تماماً بهذا النوع من الإرباك. ولم ينتشر الرعب فحسب، بل ضغط على الحكومات عبر العالم لكي تتبنى سياسات مشكوكاً بها لمخاطبة تغير المناخ الذي لا أصل بشرياً له. وتقدم النقاش السياسي بدون أن يرافقه المستوى الطبيعي من الإثبات العلمي. ومع أن تغير المناخ مفهوم فهماً ضعيفاً، إلا أن قوانين تقييدية سرعان ما صدرت لمنع احترار كوني مزعوم يسبّبه الإنسان.

لقد عرف منذ مئات السنين أن الطبيعة تخفي أسراراً كثيرة[2183]، ومن هذه الأسرار صحة نماذج الكمبيوتر. يقول لنا أنصار الاحترار الكوني إن العلم موطّد ونهائي. وهذا يعني أنه ليس هناك المزيد لنتعلمه عن الطبيعة. وإذا توطد علم الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان، فلا حاجة إلى تمويل أبحاث المناخ، ومؤسسات المناخ وبيروقراطيات الحكومة. وإذا توطد الأمر وصار نهائياً فإنه ليس علماً. والمعرفة العلمية تتضاعف كل سبع سنوات، وليس هناك أمر يمكنه أن يتوطد ويكون نهائياً. وتتجاهل حركة الاحترار الكوني العلوم الدقيقة غير الشائعة، كما يبيّن هذا الكتاب، مثل الجيولوجيا، وعلم الفلك والفيزياء الشمسية. وإذا استعملت العلوم استعمالاً اختيارياً، وتم رفض حقائق كثيرة من العلوم المصادق عليها، فإن حركة الاحترار الكوني لا تدعمها العلوم.

إننا نعيش في زمن عطلت فيه منهجية العلوم. ويمكن لردات فعل على شاكلة احتباس حراري يسبّبه الإنسان مبنيّة على علم غير مكتمل أن تكون مكلفة جداً، وسوف تُحرّف سياسة الطاقة وتجعل الفقراء أكثر فقراً.

لا يمكن تجاهل مشكلات التلوث الحقيقية. أما أثر CO_2 في المناخ، فإن الحل الصحيح لمنع حصول مشكلة من لـ CO_2 هو امتلاك الجرأة للتفكر بعمق، وعدم فعل شيء.

قمة جبل الجليد

لم يترسّخ النقاش العام عن الاحترار الكوني بالعقل والدلائل. فإن

(2183) «*In Nature's Infinite Book of Secrecy, A Little I Can Read.*» (Soothsayer in *Antony and Cleopatra* 1.2, 9-10; William Shakespeare (1564-1616 AD).

تعقيدات المناخ كثيرة تتعدى مجرد فهم خاطف مبني على مشاهدة سبع ثوان من دعاية تلفزيونية. وتقدم الأمور غير المعروفة والشك مدى كبير للتفضيل غير الموضوعي. ويصل قليل من الناس إلى اعتقاد بجهد متقن يقود إلى فهم وتقويم، ومعظمهم يختارون الاعتقاد لأنه يلّبي العواطف. فالدلائل التي تدعم الاعتقاد المؤسس مقبولة بسرعة، أما الدلائل المخالفة فيتم تجاهلها أو رفضها. وكلمة «اعتقاد أو إيمان» كلمة دينية وسياسية، وليست كلمة علمية.

إن الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان اعتقاد شائع لأنه يوفر القناعة بالتقويم بدون القيام بشيء، أو يكلف شيئاً، وإنما يعطي المكافأة المباشرة للفوقية الأخلاقية فقط. وهناك راحة في رؤية «الملوثين» وهم يدفعون ثمناً لأخطائهم، وهذا يقدم صفقة جذابة، ويعطي الإعلام ما يكفي من الذرائع الكاذبة لدعمها، ولا يمكن لمحاولة الرد على ذلك بمناقشة علمية فكرية، وليست تمريرة إعلامية في خدعة السبع ثوان الصوتية أن تنافس في الإعجاب الشائع.

رغم إغرائها وزخمها، فإن قوة الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان عرضة للعطب من منظارين نقديين؛ أحدهما أن كل فحوى الدلائل العلمية تقريباً بالإضافة إلى النتائج الكارثية المتوقعة تعتمد مباشرةً على الاحترار، ولذلك فإن اتجاه الابتراد مستمر في المناخ سيكون من المستحيل تجاهله أو شرحه. والآخر، هو أن الانتقال من صناعة طاقة الوقود الأحفوري السائدة لن يكون تغيراً غير مؤلم نسبياً، إذ ليس هناك طريقة أو تكنولوجيا معروفة يمكن للاقتصاديات الصّناعية أن تستمر بواسطتها وتكون طاقة ثمينة، معتمداً عليها، ونظيفة، وخضراء، وقابلة للتجديد.

قد تكون فترة توفر الطاقة الرخيصة الكافية قد شارفت على نهايتها، ليس بسبب العرض والطلب بل لأن حركات الخضر تحاول إجبار المجتمع على السعي وراء طاقة عالية التكلفة ولا يعتمد عليها. إن الطاقة المتجددة من ناحية أخرى ثمينة، ومنتشرة ولكنها تحتاج إلى عقود كثيرة من التطور لكي تصبح مجرد مساهم ثانوي لتلبية الطلبات. فعلى سبيل المثال، إن جميع الكهرباء المولّدة بتوربينات رياح وعددها 2000 في المملكة المتحدة، لا تزال تنتج من الكهربائية أقل من تلك المنتجة من محطة كهرباء واحدة متوسطة الحجم. وهناك نحو 50 محطة توليد كهرباء بالفحم أو الغاز، أو الطاقة النووية في بريطانيا

اليوم؛ وبسبب تقطع هبوب الرياح، فإن توربينات الرياح تولد كهربائية هي أقل من خمس سعتها التصميمية.

إن الطاقة المتوفرة الرخيصة أساسية لجميع الاقتصاديات. ومع نقص الطاقة، سيصبح كل شيء ثميناً أكثر وسنكون أفقر. إن كثيراً من الأمور التي نأخذها على أنها مسلّم بها قد نصبح غير قادرين على تحملها أو قد تكون غير موجودة. وستفاقم ضرائب الكربون المقترحة، وتجارة الانبعاثات وإرادة التحكمات من الصعوبات، وستجني الحكومات وبضعة مؤسسات مالية مختارة كميات كبيرة من مال الشعب، وستصبح تجارة الانبعاثات سلاحاً للضريبة الواسعة؛ وهذا المال لا يستطيع تغيير المناخ ولن يغيره، ولن يغير أي مقدار من المال الأشعة الكونية، وسلوك الشمس، ومدار الأرض وتيارات المحيطات وصفائح التكتونيات. وسوف تغني تجارة الانبعاثات البعض، وتجعل معظم الناس أفقر.

مهما كان اعتقاد البيئيين، فإن الضغط السياسي حول الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان لا يُحدث إلا تمزقاً اجتماعياً، لأن الطلب العالمي على الطاقة لن يختفي. وإن تخفيض استهلاك كل فرد للطاقة يمكن أن يخفض مستوى المعيشة، وسيُحدث ذلك قلقاً وعدم استقرار في الحكومات. وإن المصادر الفعّالة للطاقة الآن هي الوقود الأحفوري فقط، وكهرباء مساقط المياه، والانشطار النووي. وحتى تخفض تكاليف الطاقة من مصادر أخرى بشكل أساسي، وتكون الطاقة المستعملة لبناء مصانع مولّدة أقل من عمر الطاقة التي ستنتجه المحطة، وبالتالي فإنه انتحار سياسي فَرض مصادر طاقة أخرى على بني البشر.

إننا نشهد الآن اندفاعاً في أسعار الطعام، وأسعار الطاقة والتكلفة العامة للمعيشة. ويبدو أن الحكومات تنسى أن تغيرات سياسية كبرى كثيرة في الماضي حرّكتها أسعار الغذاء العالية. وعند 200 ppmv من تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، يتوقف تقريباً نمو الزرع. وعليه، فإن الثورة الخضراء ممكنة لأن الـ CO_2 الجوي الآن يبلغ 385 ppmv، وإذا بلغ 1000 ppmv، فسيكون هناك تحسن هائل في نمو الزرع ولن يحدث أذى للحيوانات. وإننا نعرف ذلك لأننا نضخ CO_2 في بيوت زجاجية زراعية لرفع الإنتاج ولإحداث نمو أسرع عند نحو 1000 ppmv CO_2. يكافح معظم الناس على الأرض للحصول على البروتين، وعليه، فإن تخفيض هذا النمو أو تعويق زراعة الغذاء بعزل CO_2، يحدث قضيةً أخلاقية.

إن معظم مناصري الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان إما جهلاً بالعلم أو أنهم قد استثمروا الكثير شخصياً في هذا الإطار؛ فهم يستندون إلى سلطة، أو رأي جماعي، أو إلى استماتة جنونية في قمع الآراء المعارضة. وقد قيل لنا إن نظرية الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان قوية، ومن الجنون معارضتها. ولا يمضى يوم بدون أن يقدّم الإعلام قصصاً مرعبة وصادمة عن الاحترار الكوني. ويقال لنا باستمرار إن هناك إجماعاً لعلماء بارزين في دعم النظرية، وإن العلماء الوحيدين الذين يعارضونها هم الذين تدفع لهم شركات النفط. وليس هناك فهم بأن المعارضة قد تكون لأسباب عقلانية ونزيهة وفكرية. وبالهجوم الموجّه إلى من يعارض، فإن الكسب المشروع في التنوير يهمل من أجل سبب سياسي، والذي لا يقال هو إن توقعات علماء المناخ عن كارثة مناخية سببها الإنسان ملطخة بتحزباتهم المنحازة إلى السياسيين، والحكومات والمنظمات غير الحكومية (NGOs)، ومنظمات الأبحاث التي استثمرت كثيراً في كارثة الاحترار الكوني المفترضة. وإن بهرجة المقام السياسي، والتحزب، وحب الأفضلية والسلطة العلمية ربما هي أسباب انتهاز كثير من علماء المناخ الفرصة، ومطاردتهم الشهرة، والحظ السياسي وتمويل مدى الحياة.

على الرغم من مليارات الدولارات المنفقة على IPCC، وكيوتو، وأبحاث المناخ، والنقاش، وسياسات الحكومة، لا يبدو أن العالم يحتر. وقيل لنا إن القرن العشرين كان الأدفأ، غير أن الذي تبيّنه بيانات IPCC هو غير ذلك. فقد أظهر القرن العشرون احتراراً وابتراداً، وكان هو القرن الأول بعد العصر الجليدي الصغير، فليس مفاجئاً، أنه يكون أدفأ. وحسب أرقام IPCC، كان العالم يبرد منذ عام 1998، إلا أن بيانات لب الجليد بيّنت وجود زيادة في الـ CO_2 تتبع ارتفاعاً في درجة الحرارة. وتمكّنت «عصا الهوكي» لمان، أن تجعل احترار العصور الوسطى يختفي، وجعلت الاحترار الحديث ينذر بالخطر. وتقترح نظرية الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان أنه يتطلب وجود احترار في أعلى الغلاف الجوي للأرض فوق خط الاستواء، ولكن مناطيد الطقس، والأقمار الاصطناعية تبين أن الوضع ليس كذلك.

هناك ترابط جيد بين درجة الحرارة وCO_2 منذ عام 1976 وحتى عام 1998. ولا يعني الترابط هنا مُسبباً أو سَبباً، فعلينا أن نعود في الزمن فقط لتبيان أن لا علاقة بين CO_2 ودرجة الحرارة. وأولئك الذين يدعمون نظرية الاحترار

الكوني الذي يسببه الإنسان لا يمكنهم أن يبيّنوا لماذا كان الاحترار المينوي والروماني واحترار العصور الوسطى أدفأ من الآن، وبدون أن يكون هنالك تصنيع في ذلك الزمن، ولا يمكنهم أن يبيّنوا لماذا ازدادت درجة الحرارة من عام 1860 إلى 1875، ثم انخفضت من عام 1875 إلى 1890، وارتفعت حتى عام 1903، وانخفضت حتى عام 1918، ثم ارتفعت دراماتيكياً حتى عام 1941، ولا يمكنهم أن يبيّنوا لماذا كان معدل الاحترار ومقداره في بداية القرن العشرين أكبر من الآن، على الرغم من انبعاثات CO_2 الدنيا من قبل الإنسان في ذلك الزمن، ولا يمكنهم أن يبيّنوا لماذا كان هناك ابتراد منذ عام 1998. ومع النظرية البالية، لا عجب أنهم يدافعون عن مبدئهم السياسي المقرون بالحماسة غير العلمية.

لا يناصر هذا الكتاب الفكرة القائلة إننا نلوث الطرق الجوية وطرق المياه واليابسة، كما لا يناصر القول إننا مسرفون في الطاقة، والماء، واليابسة، والموارد الغذائية والمعدنية. ولا يناصر هذا الكتاب فكرة أن نُجوِّع عدداً كبيراً من الناس في العالم الثالث بسبب إيديولوجية سياسية. غير أن الغاز الذي لا لون له ولا رائحة ولاطعم وغير السام الذي اسمه ثاني أكسيد الكربون ليس ملوثاً، وهو غاز أثيري في الغلاف الجوي، ولكنه يعزز جميع أوجه الحياة على الأرض، فهو غذاء النبات. وتتطلب جميع النباتات CO_2 لعملية التركيب الضوئي، وكذلك الكائنات الخضر (وبخاصة الكائنات المجهرية القادرة على عملية التركيب الضوئي) هي الدعائم التي تدعم الحياة على الأرض. وبذلك، زاد الارتفاع الضئيل في تركيز CO_2 خلال الـ 35 عاماً الماضية من محاصيل الحبوب (من 325 ppmv إلى 385 ppmv).

لا يمر يوم إلا وكانت هناك قصة عن الاحترار الكوني على شاشة التلفزيون، تظهر صورة خلفية لبرج تبريد في محطة طاقة تعمل بالفحم، وعمود الأبخرة المرئي هو المشاهدة ليس في الحقيقة CO_2، بل هو H_2O. وإن عمود قطيرات بخار الماء هو عنصر الإثارة المرئية لدعم النظرة الشائعة بأن CO_2 ملوث من فعل بشري. وليست هذه صورة مضللة فحسب، فبدون محطة توليد القدرة هذه لن يتمكنوا من بثّ برنامجهم التلفزيوني إياه. وعندما يبثّون قصة عن تغير مستوى سطح البحر أو ذوبان الجليد على التلفزيون، نرى لقطات لجبال جليدية تنشعب من صفيحة جليد القطب الجنوبي. ولانرى مقدار الثلج المتساقط على مرتفعات القطب الجنوبي والمقدّرة بآلاف الأمتار، فوق مستوى سطح

البحر، ولا نرى معلومات تبيّن أن فقدان الجليد بالتشعيب (Calving) والكسب بتساقط الثلج هما، في حالة توازن، ولا نرى مقداراً يبيّن أن ملاحظات الأقمار الاصطناعية تقول لنا إن صفائح الجليد القطبية تتكثف، ولا نرى معلومات تبيّن أن تشعيب الجليد هو النتيجة النهائية لعملية بدأت قبل آلاف السنين، أي قبل استعمال الإنسان الوقود الأحفوري.

الإجماع العلمي

عندما ولدت العلوم، كان الإجماع في ذلك الوقت مدفوعاً بالدين، والسياسة، والتعصب، والتصوف، ودافع الاهتمام بالذات. وفضح العلم من «غاليليو» إلى «نيوتن» وعبر القرون، زيف إجماع الرأي العام، فوضع التجربة، والحساب، والملاحظة، والقياس، والمصادفة بالتكرار، والزيف، والعقلنة. وإن التوجة للحصول على إجماع رأي عام ليس جديداً.

تسمح المنهجية العلمية بحل المشكلات، بينما نرى علم الاحترار الكوني مصمماً للتأكيد على رأي سياسي. وهناك إجماع يتعلق بعلم الاحترار الكوني، ولكن فقط عند بعض النشطاء البيئيين العلميين.

لا يبدو أن الحقيقة العلمية باتت أساسية بعد الآن. وإن الاحترار الكوني الذي يسبّبه النشاط البشري مثال واحد على ذلك، حيث تحاول مجموعة أن تهدم المبادئ الأساسية للعلوم، ووضع نظام جديد مبني على الجماعية السياسية والسوسيولوجية. وقد أصبحت العلوم نظام اعتقاد ليس إلا، إذ إن الاعتقاد مع وجود أكبر عدد كبير من المصفقين والتابعين يصبح الحقيقة المُؤسسة، والمعرفة المُكتسبة. ويساند هذا الاعتقاد إجماع وسلطة. ومع هذا العلم الفاشستي المبني على إجماع عام ومتبنًّى من IPCC التابعة للأمم المتحدة ووكالات أخرى سلطوية، يبدو أن العلم الحقيقي لا يهم بعد الآن. فإذا كانت «عصا الهوكي» لمان، تبيّن درجة حرارة عالمية مرتفعة مبنية على طرق إحصائية خادعة وغير صحيحة، فلا يهم طالما لا يزال هناك إجماع.

إذا بيّنت جهة من الجهات العلمية أن صفائح الجليد القطبية تتسع الآن، أو أن الدببة القطبية تزدهر عدداً وصحة، فهذا يتم تجاهله لأن هذه البيانات لا تقع ضمن الإجماع، أو عندما يركب علماء الفضاء الطيش لتبيان أن المناخ تحركه النشاطات الشمسية بدلاً من انبعاثات CO_2، فسيُرفَضون كديناصورات

تنهج نهج العلوم القديمة البالية. وهؤلاء الفلكيون ليسوا أعضاء «نادي الإجماع» فلا يسمع لهم رأي. وبمجرد أن يكون هناك إجماع، سيصار إلى رفض أي شيء، يضع النموذج الشائع موضع المساءلة، بدون عقل. ويبيّن تاريخ العلوم أن «النموذج الشائع» اليوم هو النظرية المرفوضة غداً. وإن المثال الجيد على ذلك الفكرة الشائعة التي تدعي بأن كويكباً صدم الأرض من 65 مليون عام في المكسيك، وأدى إلى انقراض الديناصورات.

العلم حيث توجد غالبية أصوات من علماء مناخ تحدد حقيقة علمية هو سياسة، وليس علماً. وهذا هو تماماً الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان: سياسة. فبعد إخفاق طريقة الإجماع عدة مرات، سيكون هناك تقدم هادئ نحو العلوم الحقيقية. وعلينا أن نعيش أثناء ذلك، مع مجموعات الضغط السياسي غير العلمي، التي تتصرف كقطط محروقة هائجة إذا كان لأحد أن يتهور بالقول إن الاحترار الكوني ليس ظاهرة من صنع الإنسان. وقد وضع بعض هؤلاء العلماء العلوم على مذبح الاعتقاد الديني. وعندما يتم تحدي الحقيقية المسلّمة (أي نظرية، IPCC)، سيعاني العلماء المعارضون جمهور المحتشدين لنصرة العقيدة والإيمان، وسوف يبعد متطرفو الاحترار الكوني، أو يقمعون، أيّ معلومات تتحدى معتقداتهم أو تخالفها، ويستعملون قوة الدولة للسعي إلى أهدافهم، وأحياناً بطريقة مناهضة لإرادة الغالبية. ويلقب أولئك الذين يعارضون بالمجانين مثيري الهزء والسخرية، والمرتشين الفاسدين، فليس هناك نقاش للحقائق في ما هو خلاف صادق في العلوم.

كانت تقارير IPCC تقرأ مثل الوثائق المقدسة والمبرمجة لإظهار النتاج الذي يسببه النشاط البشري ألا وهو الاحترار الكوني.

إن الإعلام، الذي يعتمد بقاؤه على الإثارة، يجتر قصة «الحكم والاكتئاب» (Doom and Gloom Story) من «خلاصة لصانعي السياسة» لهذه التقارير، ولا يقرأ العلم الموجود في قلب التقارير. وفي تقارير IPCC، تكتب «الخلاصة لصانعي السياسة»، لصانعي السياسة، والسياسيين، ولمنافذ الإعلام، والنشطاء البيئيين، ولا يكتبها علماء، كما لا تعكس العلم في قلب التقارير. وفي تقارير IPCC، تكون «خلاصة لصانعي السياسة» الأمر الوحيد الذي يستعمله الصحافيون مصدراً لمعلوماتهم. لقد ولّدت هذه الخلاصات حساً من التأكيد، والعلم بكل شيء، والتعصب، ولم تعكس الشك الذي يعتري الجسم

الرئيسي للمعلومات. وفي الحقيقة. إن الشكوك تكمن في صلب التقارير نفسها.

ينظر إلى تغير المناخ على أنه مشكلة. وتُصوّر المشكلة بأنها مشكلة بسيطة مستمدة من سبب واحد (إصدارات الإنسان للـ CO_2)، وعلى أنها مشكلة يمكن حلها بواسطة مجموعة صغيرة من الخبراء من فرع واحد، إلا أن هنالك سلسلة كاملة من أسئلة معقدة جداً في مواضيع كثيرة لا تتعلق بها بالضرورة. ويوجد مؤهلون كثيرون في جميع اتجاهات هذه النقاشات لهم آراء مختلفة، وهذا هو تماماً ما يتوقع في أي نقاش علمي. ولا يحدث هذا مع IPCC، التي اكتسبت إجماعاً من أناس متشابهي التفكير في مساحة صغيرة من العلوم. ويعتمد جميع هؤلاء الناس على بعضهم البعض لمنشورات فيها مجاملة شديدة ومنح للأبحاث[2184].

كانت هناك دراسة إحصائية تبيّن أن القرن العشرين كان دافئاً على نحو غير عادي[2185]. وكانت هذه محاولة أخرى لإعلان شرعية «عصا الهوكي» دفعت بالإعلام إلى مضاعفة السرعة. والذي لم ينقله الإعلام هو بحث آخر يبيّن أن الاختبارات الإحصائية الملائمة التي تربط بين سجلات المقاييس غير المباشرة للمناخ والبيانات المشاهدية العيانية لم تستعمل، ونتيجة لذلك، لم يعد الاحترار غير العادي للقرن العشرين قائماً[2186]. وكان كلا البحثين في الدورية العلمية نفسها. وهذه هي طبيعة العلوم الحقيقية، ليس فيها «إجماع».

هذا، وينفي العلماء الروس أن تعكس معاهدة كيوتو أو تقارير IPCC إجماعاً بالرأي للهيئة العلمية العامة. وبينما تضغط الدول الغربية على الهند والصين لضبط إصدار غازات الدفيئة، يرفض العلماء الروس فكرة أن يكون ثاني أكسيد الكربون مسؤولاً عن الاحترار الكوني. ويبيّن البحث الروسي في لب جليد القطب الجنوبي أن درجة الحرارة تحفز ارتفاعاً في CO_2 الجوي مع تلكؤ (Lag) بلغ أمده من 500 إلى 600 عام. ويقول العلماء الروس إن النماذج

(2184) K. M. Schulte, «Scientific Consensus on Climate?,» *Energy and Environment*, vol. 19 (2008), pp. 281-286.

(2185) T. J. Osborn and K. R. Briffa, «The Spatial Extent of 20th - Century Warmth in the Context of the Past 1200 Years,» *Science*, vol. 311 (2006), pp. 841-844.

(2186) G. Bürger, «Comment on the Spatial Extent of 20th-Century Warmth in the Context of the Past 1200 Years,» *Science*, vol. 316 (2007), p. 1844.

المناخية غير دقيقة، إذ لا يزال الفهم العلمي لعوامل مناخية طبيعية كثيرة ضعيفاً، ولا يمكن أن ينمذج المناخ بشكل دقيق. ويقول أوليغ سوروختين (Oleg Sorokhtin) من مؤسسة الدراسات المحيطية للأكاديمية الروسية إن المناخ العالمي يعتمد في الأغلب على عدة عوامل مثل النشاط الشمسي، دقة محور الأرض، وتغيرات في تيارات المحيط، وانسيابات في ملوحة المحيطات، ومياه السطح، بينما لا تلعب الانبعاثات الصناعية أي دور بارز. ويقول إن تراكيز الـ CO_2 العالية جيدة للحياة على الأرض، وأن للغلاف الجوي للأرض آليات منتظمة تعدل تغيرات المناخ. فعندما ترتفع درجات الحرارة، يزداد تبخر المحيط، وتوقف الغيوم الأكثف الأشعة الشمسية فتنخفض درجات حرارة السطح.

أصبحت الجمعية الملكية في لندن، تحت القيادة السابقة للورد روبرت ماي (Robert May)، مناصرة لتهويل الاحترار الكوني. واستعمل قائد سابق آخر للجمعية الملكية في لندن سلطته للقول إن الآلات الأثقل من الهواء لا يمكنها الطيران، وإننا عرفنا كل ما يجب معرفته عن الفيزياء[2187]. ولا تشرعن السلطة أو تصادق على خلاصة علمية، فهناك حاجة إلى دلائل للقيام بذلك. وقد حاولت الجمعية الملكية، تحت قيادة اللورد «مي»، أن تذكر أكاديميات أخرى لدمجها في البلاغ التحذيري، وقررت الأكاديمية الأميركية للعلوم، مع تقاسمها بعض الآراء، ألاّ توافق. وقد اتخذت الأكاديمية الروسية للعلوم النظرة المخالفة. وعبّر العلماء الأميركيون الـ 32,000 الذين وقّعوا عريضة أوريغون (Oregon Petition) عن شك جدّي في الخلاصات الرئيسية للـ IPCC، التي تشمل عدة معاينات بُذل فيها قليل من الوقت والجهد حيث استعملت نقرة فأرة كمبيوتر فقط. وشملت عملية عريضة أوريغون ملء وثيقة مطبوعة، وإرسالها إلى مؤسسة أورغون للعلوم والطب[2188].

قالت الجمعية الفيزيائية الأميركية: هناك حضور معتبر ضمن الهيئة العلمية العامة لمن لا يتفق مع خلاصة IPCC بأن انبعاثات CO_2 البشرية ستكون على الأغلب مسؤولة عن الاحترار الكوني الذي حدث منذ الثورة الصناعية.

(2187) اللورد كالفن.

(2188) . <http://www.petitionproject.org>

متى لا يكون الإجماع إجماعاً؟ ادعى عالم المجتمع نايومي أوريسكس (Naomi Oreskes) في دوريته العلمية **العلوم** (*Science*) أن بحثاً لقاعدة بيانات المعرفة (ISI Web) للسنين 1993 ـ 2003 تحت عنوان «تغير المناخ العالمي» احتوى على 928 مقالاً، كان لكلٍّ منها ملخصات تدعم إجماع النظرة (Consensus View)[2189]. وحاول عالم اجتماع آخر، بني بايزر (Benny Peiser) أن يشرعن هذا الادعاء، فتفحص طريقة أوريسكس ووجد أن 905 مقالات فقط من المقالات الـ 928 كان لها ملخصات، وأن 13 مقالاً من 905 دعموا بوضوح إجماع النظرة[2190]، وعارضت بعض الأبحاث ذلك. وكان بإمكان حكام ومحرري مجلة (*Science*) أن ينجزوا عملهم، ويتأكدوا بسهولة من ادعاء «أوريسكس» كما فعل «بايزر»، ولم يفعلوا ذلك. إن ادعاءات الإجماع تريح بيروقراطيي السياسة، ومناصري البيئة وسياسيها لحاجتهم إلى تثبيت ادعاءات، أو أن تكون لهم أية معرفة بالعلوم، أو تستعمل لتخويف أولئك الذين لديهم فكر مختلف (Beg to Differ).

يعكس توكيد IPCC المتكرر أن هناك إجماعاً علمياً وراء تقاريرها، وأن هنالك وصفات تقرر سياساتها تعكس أسسها غير العلمية. ويتقدم العلم فقط من خلال المساءلة المستمرة للمفاهيم القائمة. نشرت الجمعية الملكية كرّاسة شعبية اعتمدت فيها بشدة على IPCC كمصدر موثوق في المعلومات العلمية[2191]، وتبنّت الجمعية ادعاء IPCC بأن الاحترار أصله بشري بالتأكيد، ولم تقدم الجمعية دلائل مستقلة لدعم هذا الادعاء، ولم تقم بنقد أو تقييم ادعاءات IPCC، ولم تقل الجمعية إن هناك علماء بارزين كثيرين توصلوا إلى خلاصة مخالفة مبنية على دلائل. تعتمد الجمعية الملكية على موارد مالية من حكومة المملكة المتحدة، وكان دعم الحكومة في ذلك الوقت ذكاءً سياسياً. ادّعت الجمعية الملكية أنها توجز رأي الإجماع العلمي، ولكن تصويتاً مباشراً للعلماء حول الاهتمام في المناخ بيّن أن نحو 30 في المئة منهم يشك بالاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان.

(2189) N. Oreskes, «The Scientific Consensus on Climate Change,» *Science*, vol. 306 (2004), p. 1686.

(2190) <http://www.staff.livjm.ac.uk/spsbpeis.Oreskes-abstracts.htm>.

(2191) *Climate Change Controversies: A Simple Guide* (London: Royal Society of London, 2007).

الإجماع العلمي

إن أسلوب النظرة أو المراجعة السريعة (Peer Review Process) للدوريات العلمية ربما هي أسرع وسيلة متاحة لتطوير النشر العلمي. غير أنها كطريقة لا تخلو من عيوب أيضاً[2192]. فالبحث إما يقبل، أو يقبل مع إجراء تعديلات، أو يرفض. ويمكن لمحرر أن يؤثر في القبول أو الرفض باختيار المراجعين الذين قد يدعمون البحث الذي يعضد أبحاثهم؛ فالمراجعون يمكن أن يؤثروا بشدة في نشر البحث أو رفضه، فإذا تلقى مراجع نقداً في بحث مخالف للأبحاث التي أجراها هو، فقد يرفض البحث. ولا يُسأل المراجعون عادةً عن بيانات أولية أو يكررون الحسابات.

تنطبق العملية ذاتها على طلبات منح الأبحاث. ولا يحظى كثير من الأبحاث الممتازة وطلبات منح الأبحاث بالدعم اللازم، لأنها لا تتفق مع النموذج أو الفكر الشائع. ولا يدعم كثير من الأبحاث والمنح لأنها ضعيفة. وما لم يكن الأمر يتعلق ببضعة صحافيين موضوعيين يمتلكون نظرة الريبة، فإن العامة لن تعرف أن هناك كماً كبيراً في الجسم العلمي لا يدعم فرضية النشاطات الإنسانية التي تحدث احتراراً كونياً.

إن كثيراً من الأبحاث الجيدة لاتنشر في دوريات المراجعة السريعة لأنه لا يعلن شيء جديد يأخذ بالألباب. ويذكر على سبيل المثال أن جامعة فلندرز أسست في جنوب أستراليا، صفاً من محطات قياس تتعلق بالمد والجزر في المحيط الهادي، وبيّنت نتائجها أن مستوى سطح البحر لم يكن مرتفعاً ولا منخفضاً، بل كان مستقراً. طبعاً، لم تحرز هذه النتائج بنظر المجلة تقدماً عظيماً في العلوم. ومن الصعب تسويق منشور مؤسس على أن شيئاً لم يحدث، ولذلك لم ينشر هذا البحث في دورية رئيسية. وعلى الرغم من أن هذه المعلومات، التي لا تحرز أهدافاً مربحة، فقد تكون مفيدة لعمل لاحق عن تقويم العلاقة بين تغير المناخ ومستوى سطح البحر، غير أن الوصول إليها ليس سهلاً. وطبعاً لن تفوز نتائج من هذا البحث بمنح أبحاث.

يُدعم العلم مبدئياً بمال الحكومة. ويدّعي البيئيون عامةً أن هناك تحيزاً

(2192) D. W. Miller, «The Government Grant System: Inhibitor of Truth and Innovation,» *Journal of Information Ethics*, vol. 16 (2007), pp. 59-69.

يصيب العلوم عندما يتم الدعم من خلال مصادر صناعية، غير أن الحكومات تحب معتقدات معيّنة شائعة تساعد في إعادة انتخابها. وإذا قال أحدهم إن لتغير المناخ أصلاً شمسياً، أو إن جرعات قليلة من الإشعاع غير مؤذية، فسيكون من الصعب الحصول على تمويل من حكومة. وبمعنى آخر إن الرأي العام غير العلمي (العامي) يحرّك اتجاهات البحث العلمي. ولقد تطورت الآن ثقافة محايدين يؤمنون بتوفر ما يرضي أصحاب القرار للحصول على تمويل أبحاث. وتريد هيئات منح الأبحاث جدولاً زمنياً بالإنجازات في العام الأول، والعام الثاني، والعام الثالث لمشروع البحث المقترح؛ وهذا يقتضي أن يكون هناك تقدم مفاجئ في الأبحاث.

كانت الاختراقات الكبيرة في العلوم أحداثاً شائعة قبل نحو 50 إلى 100 عام، أما اليوم، فإن الأمر ليس كذلك. ولن يمول نظام منح الأبحاث اليوم أشخاصاً مثل جيمس واتسون (James Watson) وفرانسس كرك (Francis Crick) وريتشارد فينمان (Richard Feynman) وجوناس سالك (Jonas Salk) أو لينوس بولنغ لينوس بولنغ (Linus Pauling) بدون ذكر تشارلز داروين (Charles Darwin)، وألبرت آينشتاين (Albert Einstein) أو ماري كوري (Marie Curie). فلن تنشر أية دورية علمية اليوم بحثاً مقدَّماً من كاتب مغمور في مكتب تسجيل اختراعات لمجرد أنه يقدم فكرة جديدة مثيرة وأساسية في الفيزياء. وقال توماس كون (Thomas Kuhn)، فيلسوف العلوم، إن العلم يتقدم في اندفاعات ثورية يكون فيها النموذج السائد مقلوباً. غير أن أولئك الذين أسسوا أنفسهم في النموذج السائد لعالم منح الأبحاث الحديثة هم الذين يقومون بعملية المراجعة السريعة (Peer Review) للأبحاث وطلبات المنح. وسوف يخرّب العلم في عيون الشعب عندما يظهر أن النموذج السائد هو نموذج عاطل.

سأكون مهتماً بمعرفة الكيفية التي يمكن بها للبحث في الفيزياء الشمسية، وعلم الفلك، وتكتونيات الصفائح، الممولة من قبل مؤسسات كبيرة، أن تصل إلى نتائج مختلفة عن نتائج البحث نفسه الممول من الحكومة. وبغضّ النظر عن الجهة التي يأتي منها التمويل، فليس هناك، على حدّ علمي، أشعة كونية يمينية أو يسارية. وليكن بعلمك أني قد أكون مخطئاً، إلا أن الأشعة الكونية تتمتع بوضع محايد وغير سياسي، وليس لها إيديولوجيا. وإذا تمّت المصادقة على الفكرة العلمية، فليس مهماً مصدر التمويل، لأن الدلائل تبقى دلائل، ولا يَهمّ

الأشعة الكونية من الذي يموّل قياسها، فهي تستمر في ضرب الأرض. ويبيّن النقاش الزائف عن مصدر التمويل للأبحاث كيف يعمل البيئيون، وليس الطريقة التي يعمل بها العلم، ولا كيف تخاطب النقاشات العلمية المخالفة أثناء ذلك.

لقد أمضى معظم المخالفين عمراً مديداً في ممارسة العلم، ولكنهم الآن لا يعتمدون على تمويل الأبحاث للتقدم المهني، وليس عليهم أن يلتزموا خط الحزب لكي يتقدموا مهنياً. ولكن، الشك أساس في العلوم. وما لم يتم تحدي المبدأ والمعتقد، فإننا نرجع إلى عالم الخرافة وإخضاع الفرد لسلطة الدولة (الفاشستية). كما إن قمع أفكار مُعارِضة ربما أكثر خطراً على المجتمع من الاحترار الكوني، مثل ما قال رئيس الاتحاد الأوروبي عام 2009، فاكلاف كلاوس (Vaclav Klauss)[2193].

استعملت أموال الحكومة لإنتاج كتاب عام 2000، أنتجه قسم أبحاث الموارد المعدنية والجيولوجيا للحكومة الألمانية الفيدرالية في هانوفر (BGR)، ودعمه أيضاً قسم حكومة ولاية ساكسونيا السفلي للأبحاث الصناعية الأولية، ومؤسسة هانوفر للجيولوجيا. لقد خصص هذا الحشد للمعرفة المتاحة من عالمين بارزين لمعرفة المناخ المستمد من التاريخ والآركيولوجيا والجيولوجيا، والنظر إلى الزمن الماضي في محاولة لتأكيد إن كان مقدار التغيرات الحديثة ومعدلها أمراً فوق العادي[2194].

وبيّنت النتائج أنه لم يكن هناك شيء غير عادي في الأزمنة الحديثة، وأن CO_2 لم يحرك المناخ، وأن عوامل مثل الشمس، ومدار الأرض، والتكتونيات كانت محركات مناخية أهم بكثير. لقد أحدث الكتاب عاصفة، ولم يلائم خط حزب الحكومة الألمانية يومئذ، إذ كان بقاؤها السياسي يعتمد على الخضر أو الاشتراكيين. وانتقدت وزيرة البيئة بشدة الكتاب ونأت بنفسها عن منشور لعلمائها النزيهين المستقلين؛ وفي نظرها، كان واضحاً أن مال الحكومة قد ضُيِّع. ولم يطبع الكتاب ثانية، على الرغم من أنه كان من الكتب الأكثر مبيعاً. واعتز أنا بنسخة من الكتاب الثمين الذي أصبح محظوراً.

(2193) Václav Klaus, *Blue Planet in Green Shackles: What is Endangered: Climate or Freedom?* (Washington, DC: Competitive Enterprise Institute, 2008).

(2194) U. Berner and H. Streif, *Klimafakten: Die Rückblick-Ein Schlüssel für die Zukunft* (Berlin: E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2000).

ربما تستطيع الحكومات أن تتعلم من الأعمال الكبيرة، فلن تجني شركة ما من قرارات تريليونات الدولارات بدون اجتهاد شامل وثمين، وهذه عملية تشمل المصادقة الشفافة، وإعادة تقويم وتكرار للبيانات الأولية، وتكرار الحسابات والقياسات. ولكن هذا لم يطبق من قبل حكومات يدّعي كثير منها أن الأخطار ستكون عالية جداً إذا لم يتّخذ إجراء بشأن الاحترار الكوني. وما لم يقولونه هو أن خطر القيام بقرارات تكلف تريليونات الدولارات بدون اجتهاد كاف يكون انتحاراً. وقد صيغت فعلاً ملاحظات الانتحار الموجعة والطويلة (على سبيل المثال، مجلة **شتيرن ريفيو** *Stern Review*).

يريد السياسيون والإعلاميون مثل معظم الناس، أن يكونوا شعبيين، وأن يقولوا أشياء يعتقدون أنها تريح معظم الناس. وإذا دعم ذلك بإجماع علمي، فهذا أفضل. وتزيد قصص الإعلام الشعبية من دخل الإعلان، كما إن قصص الكوارث تباع بيعاً جيداً، ويرغب المُعلِنون أن يظهروا بأنهم واعون بيئياً، سيما وأن الآراء المناقضة لا تجلب مردوداً. ولعل الأفضل للسياسيين من غير الشعبيين أن يجدوا لهم عملاً ليلياً.

فما الذي تقبله IPCC والاحترايون كدلائل غير مؤكدة لنموذجهم الشعبي الحالي؟ لقد سألت الاحترايين عدة مرات هذا السؤال. ولم يكن الحصول على جواب أمراً ممكناً.

وإني طالما أسأل السؤال البلاغي التالي: «إنك تدعي أن IPCC، والجمعية الملكية، وأكاديميات أخرى كلها على خطأ؟»

وأجيب دائماً بالقول إن «الإجماع» ليس حقيقةً أكاديمية، بل هو عملية سياسية، كما أقول إن الإخفاق الواسع لأنظمة العالم المالية يبيّن كيف أن قادة العالم، والسياسيين، والأكاديميين، والأسواق، وقادة الأعمال والإعلام تم استغباؤهم.

وهل تستطيع الحكومات تغيير المناخ؟ فإذا تمكّنت الحكومات من تغيير الطريق المجرّي للنظام الشمسي، والطاقة المتغيرة التي تصدرها الشمس، والتغيرات في انسياب الأشعة الكونية، وتذبذبات مدار الأرض، وسلوك البكتريا والصفائح التكتونية، فسوف أقتنع بأنهم يستطيعون تغيير المناخ.

يجب على الحكومات ألاّ تنسى حكاية الملك كانوت (King Canute).

النهاية قريبة

يدرك عدد متزايد من العلماء أن المناخ والنماذج البيئية والاقتصادية لمستقبل لا يمكن توقعه لا جدوى لها وهي غير منطقية[2195]. وإن للتوقعات بعيدة الأمد معدلاً بارزاً في الإخفاق، وإن تلك التوقعات المعمولة باستعمال نماذج كمبيوترية ليست مختلفة، وإن التوقعات المنذرة بكارثة من مجموعات مناخية قد خربت العلوم حقاً[2196]. وربما تخبرنا توقعات كهذه المزيد عن السلوك الجماعي لهيئة نماذج المناخ العامة أكثر مما تخبرنا عن الاحترار الكوني. ومرة أخرى أقول، إن توقعات المستقبل ليست جديدة فعلاً.

إننا نعيش في عالم تكنولوجي، وتدعم العلوم هذه التكنولوجيا. ولا يفهم المقامر العادي العلوم ولا التكنولوجيا المستعملة في الحياة اليومية؛ فقد قال كارل ساغان (Carl Sagan) إن العلوم هي شمعة في الظلام، وهي مخالفة لعصر الظلام الجديد الذي تدعمه الخرافات واللاعقلانية[2197]. وبتخريب العلوم، نعود إلى اللاعقلانية والخرافات.

إن هذه اللاعقلانية المهلكة تكلف المجتمعات كلفة هائلة[2198]. ويبدو أن التكنولوجيا تنتج مشكلات سياسية، فالسياسيون والشعب يتوقعون من العلوم أن تزودهم بأجوبة للمشكلات، ويُتوقع من الأجوبة أن تكون غير مُلتبسة. غير أنه يقال لنا إن العالم يسير نحو نهاية، وإننا سنموت جميعاً ببطء، سوف نقلى في عالم بيت زجاجي حار، وماذا أيضاً، سنموت فقراء؛ وكل ذلك ذنبنا. لقد حان وقت الغفران، أليس كذلك؟

هناك تاريخ كئيب عن خبراء يقومون بتوقعات عن نهاية الكوكب وغيرها من كوارث مرعبة. ولمعظم التوقعات، بما فيها تلك المتعلقة بالمتحمسين

(2195) O. H. Pilkey and L. Pilkey-Jarvis, *Useless Arithmetic: Why Environmental Scientists Can't Predict the Future* (Columbia: Columbia Univerisy Press, 2007).

(2196) F. Pearce, «Poor Forecasting Undermines Climate Debate,» *New Scientists* (1 May 2008), pp. 8-9.

(2197) C. Sagan, *The Demon-Haunted World: Science as a Candle in the Dark* (West Virginia: Headline Book Publishing,1996).

(2198) C. Booker and R. North, *Scared to Death: From BSE to Global Warming: Why Scares are Costing us the Earth* (London; New York: Continuum, 2007).

للمناخ، معانٍ دينية. وتجذب التوقعات المتشائمة اهتماماً، وهناك جمهور مستعد دائماً للاستماع لتوقعات منذرة بكارثة[2199].

يقول العهد الجديد (انجيل متّى، الأصحاح 16، الآية 28) إن العالم سينتهي قبل موت الرسول الأخير[2200]. غير أنه لم ينته. وفي عام 992، أعلن الباحث برنارد أوف ثورنغن (Bernard of Thurengen) بثقة، مستنداً إلى حساباته، أنه بقي للعالم 32 عاماً فقط.

ولم ينته العالم عند برنارد، الذي مات قبل مضي 32 عاماً. وكان يوم الدينونة سيحدث بعد 1000 عام من ولادة المسيح. وحيث اقتربت نهاية العالم، لم يكن من الضروري بذل طاقة وجهد لزراعة المحاصيل، وكثيرون لم يزرعوا محاصيل، وانتهى العالم عند كثيرين عام 1000 بسبب وجود مجاعات. وزع المنجم «جون أوف توليدو» (John of Toledo) كراسات عام 1179 مبيّناً أن العالم سينتهي عند الساعة 4.15 مساءً (GMT) في الثالث والعشرين من أيلول/ سبتمبر عندما كانت الكواكب في «ليبرا». وأُخذ ذلك على محمل الجد، حتى أن الامبراطور البيزنطي في القسطنطينية غطّى نوافذه، ودعا رئيس أساقفة كانتربري ليوم الكفّارة. ونجحت تغطية النوافذ، ولم ينته العالم.

كان بداية القرن السادس عشر زمناً للتوقعات عن نهاية العالم. وعلى الرغم من أن عدة توقعات أخفقت، إلا أن السكان كانوا راغبين بالاعتقاد بالتوقع التالي؛ وكان أفضل توقع من المنجّمين الذين قالوا إن طوفاناً إنجيلياً سينهي العالم عام 1523. وغادر نحو 20,000 من سكان لندن إلى أرض مرتفعة أكثر، حيث فضّلوا الموت خارجاً بدلاً من الموت غرقاً في راحة منازلهم. وجمع رئيس دير القديس بارثولوميو طعاماً وماء. ولكن العالم لم ينته. وادّعى المنجمون أن حسابهم قد أخطأ 100 عام، وأن العالم سينتهي في جميع الأحوال عام 1623. ولقد انتهى فعلاً لكل الذين كانوا على قيد الحياة عام 1523.

يبدو هذا التوقع مثل التوقعات التي نسمعها من متحمسي المناخ الذين

(2199) A Good Example is the Poem *Said Hanrahan*, by John O'Brien (1878-1952) from *Around the Boree Log and Other Verses* (1921).

(2200) James Randi, *The Mask of Nostradamus: A Biography of the World's Most Famous Prophet* (New York: James Scribner's Sons, 1990).

يقومون بتوقعات مسبقة حتى أنهم لن يكونوا واقفين أمام الغاضبين ليرجموهم عندما تخفق توقعاتهم. وعلى الرغم من إخفاق توقع عام 1523 بنهاية العالم، فإن المنجمين أعادوا توقعهم مرة أخرى عام 1524 عندما تصطف الكواكب في (Pisces)، بالطبع كانت النهاية ستكون بشكل فيضان عالمي. ولقد ضم الاتحاد الكوكبي الذي وصفه المنجمون عطارد، والزهرة، والمريخ والمشتري، وزحل والشمس، وكان نبتون، الذي لم يكن معروفاً وقتئذ، في (Pisces) أيضاً. ولكن أورانوس، وبلوتو (غير معروف وقتها)، والقمر لم يكونوا هناك. ومن يمكنه أن يخفق في تصديق منجم اسمه نيكولاس بيرانزونوس دي مونتي سانت ماري (Nicolaus Peranzonus de Monte Sainte Marie)، وكان أحد المشجعين الرئيسيين لنهاية العالم؟ وآخرون، مثل جورج تانستتر (Georg Tannstetter) من جامعة فيينا، قال إن العالم لن ينتهي. وكان تنافر نغمات الهستيريا عظيماً جداً حتى أن تانستتر لم يُسمع. وينطبق الأمر علينا اليوم أيضاً؛ فقد تم توقع الفيضان العالمي في 20 شباط/فبراير 1524، وكان هناك نشاط بناء سفن مهتاج، وبنيت نسخ مطابقة لسفينة نوح، وركب كثيرون في مدن موانئ سفنهم.

في ألمانيا، بنى الكونت «إيغلهايم» سفينة من ثلاثة أدوار، وخرج إلى سفينته في يوم الطوفان الموعود، في حين تجمّع زحام غاضب في الخارج لأن رجلاً غنياً كان سينجو من هذا الهول وكانوا هم سيهلكون. وفي يوم الطوفان المنتظر، أمطرت السماء مطراً خفيفاً، وتصرّف حشد المتجمهرين كزحمة بشر، وقتل المئات منهم ذعراً في تفريق جماعي. وقد كانت فعلاً نهاية العالم بالنسبة إلى الكونت، الذي قتله الذعر من الجمع. وقد بيّنت السجلات أن عام 1524 كان عام جفاف في أوروبا، ليس إلاّ.

توقع مطران فيينا، فريدريك ناوزيا (Frederic Nausea)، عام 1532 أن النهاية قريبة لأنه رأى جميع أنواع الأمور الغريبة مثل صلبان دموية في السماء مع مذنّب، وتساقط الخبز الأسود من السماء، وكانت هناك ثلاثة شموس، وقصر يحترق في السماء، غير أن العالم لم ينته.

وحسب الرياضي والباحث الإنجيلي ستيفيليوس أوف لوخاو (Stifeliu of Lochau) (ألمانيا) أن العالم سينتهي عند الساعة الثامنة صباحاً في الثالث من تشرين الأول/أكتوبر 1533، وأحدث ذلك فزعاً عظيماً عند سكان «لوخاو» (Lochau). ولم ينته العالم. ولحسن الحظ، رجع سكان «لوخاو» إلى رشدهم

فوجهوا لستيفيلويس لطمة، وجرّدوه من منصبه الكنسي، وأخرجوه من المدينة. وفي ستراسبورغ (فرنسا) أعلن الأنابابتست ملكيور هوفمان (Anabaptist Melchior Hoffman) أن العالم سيدمر عام 1533، وأن 144,000 شخص فقط سيعيشون. وعفا الأغنياء عن ديونهم ووهبوا بضائعهم وممتلكاتهم ليكونوا من القلّة المختارين. إلا أن عام 1533 كان عاماً قلّت فيه حرائق البيوت، ولعل السبب الرئيسي في ذلك حذر شديد انتشر بين الناس من أخطار النار، وحذر من النتيجة النارية. ولم ينته العالم عام 1533، غير أن الحسابات أعيدت لتبيّن أن العالم سينتهي عام 1534، وليس 1533. وتمّ تعميد أكثر من 100 مقامر ساذج في أمستردام كإجراء وقائي. ولم ينته العالم عام 1534.

بيّنت حسابات المنجم بيير توريل (Pierre Turrell) في ديجون (فرنسا) أن العالم سينتهي عام 1537، و1544، و1801 و1814. وإن حسابات كهذه هي نماذج كمبيوتر اليوم. وكان توريل أذكى من المنجم العادي، وتوقع بأن نهاية العالم ستحدث بعد انتهاء عمره المتوقع، وهذا تماماً ما يفعله اليوم محذرو المناخ. وحسب منجم آخر، سيبريان ليوفتس (Cyprian Leowitz)، أن العالم كان سينتهي عام 1584. ولابد أنه كان واثقاً جداً من حساباته لأنه أصدر جداول فلكية تبيّن أحداثاً سماوية حتى عام 1614 إن لم ينته العالم.. ولم ينته. وكان عام 1588 عاماً آخر لنهاية العالم، حسب ما قاله يوهان مولر (Johann Müller)، وهو حكيم ذاتي التعلّم سمّى نفسه ريجيومونتانوس Regiomontanus، وكان ذكياً ذكاءً كافياً لتوقع نهاية العالم بعد عمره المتوقع.

في القرن السابع عشر، وفي عام 1648 وضعت نهاية جديدة للعالم حسب رأي الحاخام ساباتي زيفي (Rabbi Sabbati Zevi) في سميرنة (إزمير الآن في تركيا)، وادّعى زيفي بشيء من التواضع، أنه هو المُخَلّص، وأقنع سكان سميرنة أن يتركوا العمل ويستعدوا للعودة إلى القدس. وقد تم اعتقاله بأمر من السلطان بسبب التحريض على الفتنة، وخلال سجنه في القسطنطينية، أصبح مسلماً. ولم تحدث نهاية العالم عام 1648. وفي عام 1578، حسب هليزايوس روزلن من الألزاس (Helisaues Roeslin of Alsace) أن العالم سينتهي خلال كسوف شمسي في 12 آب/أغسطس 1654، وكان هذا رهاناً آمناً، ففي الوقت الذي توقع فيه الطبيب روزلن أن يدفع عجلة مليئة بالأقحوان عام 1654، كعلامة على حصول توقعه، حدث الكسوف في 11 آب/أغسطس 1654. وبالرغم من

ذلك، بقي الناس في بيوتهم وامتلأت الكنائس في الثاني عشر من آب بالمتضرعين.

ادّعى الكاردينال نيكولاس دي كوزا (Cardinal Nicholas de Cusa) كالعادة، أن نهاية العالم ستكون عام 1704. وعلى الرغم من أنه كان كاردينالاً، لم يدعم الفاتيكان توقعه، ولم تأت النهاية. وأنتجت عائلة برنولي (Bernoulli) السويسرية ثمانية رياضيين ممتازين في ثلاثة أجيال. وجاك برنولي معروف باكتشافه السلسلة الرياضية المسماة الآن بأرقام برنولي، وهو، معروف معرفةً أقل بأنه توقع أن العالم سينتهي باصطدام مذنب بالأرض في 19 أيار/مايو 1719. فمن سيعارض حسابات كهذه إذا كان فعلها برنولي؟ واستمر كلٌّ من العالم وأرقام برنولي.

كان للإنجليز وليام وستون (William Whiston) الخاص بهم، الذي توقع أن العالم سينتهي في 13 تشرين الأول/أكتوبر 1736. ولم ينته العالم وانتهى ستون. وادعى إيمانويل سويدنبروغ (Emmanuel Swedenborg)، المعروف بانسجامه العلمي، أنه استشار الملائكة مرات، وقد أفشوا له أن النهاية ستكون في عام 1757، غير أنها لم تكن. ولم تمر بضع سنين إلاّ وادعت قائدة الطائفة الإنجليزية جوانا ساوتكوت (Joanna Southcott) أن العالم سينتهي عام 1774، وأنها كانت حاملاً (حبلى) بالمخلص الجديد. ولم ينته العالم، ولم تلد جوانا هذه الصرة المفرحة.

إن لإنجلترا زلازل مشتتة. وقد تبع زلزال 8 شباط/فبراير 1761 زلزال آخر بعد ثمانية وعشرين يوماً في الثامن من آذار/مارس. وأقنع وليام بل (William Bell) أهالي لندن بأن الزلزال القادم سيكون بعد 28 يوماً في الخامس من نيسان/أبريل. كان هذا، مثل توقعات المناخ، إسقاطاً خطياً مبنياً على نقطتين فقط. وغادر المدن كثيرون، بالسفن على الأغلب. وثاب أهالي لندن إلى رشدهم في 6 نيسان/أبريل، ورموا «بل» في مستشفى المجانين، مؤسسة المختلين عقلياً.

وتوقع جون تورنر (John Turner)، وهو من أتباع جوانا ساوتكوت، اليوم الموعود (D-Day) سيكون يوم 14 تشرين الأول/أكتوبر 1820. ولم يكن كذلك. وتوّقع وليام ملر (William Miller) بـ 3 نيسان/أبريل 1843، و7 تموز/يوليو 1843،

1843، و21 آذار/مارس 1844 و22 تشرين الأول/أكتوبر 1844 أياماً لنهاية العالم. وكان تاريخ واحد فقط يكفي؟ وتكهّن أن النهاية ستسبقها صرخة منتصف الليل عام 1831، إلا أن وابلاً نيزكياً حصل عام 1833 قوّى من زعم ملر. ويجتمع في كل تاريخ محدد، مناصرو ملر على قمم الهضاب ينتظرون النهاية. وظل السذّج يعتقدون حتى لدى موت ملر عام 1849، أنه يستطيع أن يتوقع نهاية العالم. ثم رحل وجاء علماء الآثار المصرية إلى الميدان، وادعى بعضهم من قياسات الأهرام في الجيزة أن العالم سينتهي عام 1881، وأعطت الحسابات وإعادة الحسابات تاريخاً أكثر دقة هو عام 1936 وإعادة القياس الأكثر تفصيلاً أعطى تاريخ 1953. ونشر رتشارد هد (Richard Head)، وهو مثال «حتمية» معيّنة، كتاباً عام 1684 اسمه **حياة الأم شبتون وموتها** *(The Life and Death of Mother Shipton)*، وأعيدت طباعته عام 1862، وكان مليئاً بسجع ملفق منسوب إلى الأم شبتون، وتنبأ بنهاية العالم عام 1881، ثم إن النهاية ستكون عام 1891. فهل من مدّعٍ لعام 1981 أو عام 1991؟

لم يكن القرن العشرون مختلفاً؛ فعلى الرغم من رعب الحربين العالميتين، تنبأ جون بالو نيوبرو (John Ballou Newbrough) أن النهاية ستكون عام 1947، وأن أميركا وغيرها من الحكومات سَتُسحَق وسيتناقص عدد السكان تناقصاً واسعاً في أوروبا بسبب الحرب، ولم يحدث ذلك. وكانت هناك توقعات عديدة في أواخر القرن العشرين عن السكان، وعن كوارث بيئية[2201]، على طريقة توماس مالثوس (Thomas Malthus) (1766 ـ 1834)، وكانت جميعها خاطئة لأنها حذفت من حسبانها التطور والاختراق في العلوم والتكنولوجيا. وكانت لدينا في الثمانينيات، بضع خيارات من تواريخ عن نهاية العالم. وعندما أوشك زحل والمشتري على الاقتران في علامة «لبرا» في 31 كانون الأول/ديسمبر 1980، قيل إن العالم سينتهي. ولم ينته. وُصفّت الكواكب في 10 آذار/مارس 1982، وتوقع كتاب عام 1974، أن المشتري سيصطدم بكوكب (The Jupiter Effect)، وسيكون هناك زلازل في ذلك اليوم. والمشكلة هي أن هناك زلازل كل يوم، سواء أكانت الكواكب مصفوفة أم لا. ووصفت الزلازل عام 1980 بأنها أول الغيث «لأثر المشتري»؛ وفي الحقيقة إن كل ما حدث على كوكب الأرض في ذلك الوقت اعتبر بسبب «أثر

(2201) Paul R. Ehrlich, *The Population Bomb* (New York: Ballantine Books, [1968]).

المشتري»، مثل ما يقال عن أي ظاهرة طقس غير عادية تحصل اليوم بأنها دليل على الاحترار الكوني.

توقعت جاين ديكسون (Jeane Dixon) في وقت غير محدد في الثمانينيات، أن مذنباً سيدمّر الأرض. ولم يحدث ذلك. ولمّا كان يوم عند ربك يعادل 1000 عام من سنوات الإنسان، والله خلق العالم في ستة أيام، فعلى الإنسان أن يكدح 6000 عام ثم يرتاح، راحة طويلة، راحة دائمة. وبهذا الحساب لم ينته العالم عام 1996، وربما فاتتني هذه النهاية وأنا في عناق (تطويق) مع باخوس. وتخبرنا الرباعية (أربعة أبيات شعرية) Quatrain 10-72 لنوستراداموس (Nostradamus) أن تموز/يوليو 1999 كان هو الموعد. ولم يكن. وكان لحكايا الألفية يوم هائل سيحصل عام 1999 و2000. ولم ينته العالم. ولم تتوقف الكمبيوترات عن العمل مع علة Y2K، ولم تسقط الطائرات من السماء، فاستمر العالم كما كان.

وكان العالم سينتهي في أواخر القرن العشرين وأوائل القرن الحادي والعشرين، بمحرقة نووية، وفلوريد تيشرنوبيل، وعصر جليدي جديد، وDDT، وفقدان للتربة، ومصفوفات كوكبية، ومجاعات واسعة، وإيدز، وذروة النفط ونهايته، والمجيء الثاني، و9/11، وأطعمة GM، وزرع صدر بشري، والأمطار الحمضية، وثقوب الأوزون، وجنون Y2K، وإنفلونزا الطيور، وسارس SARS، ومرض جنون البقر، والمحيطات الحمضية، وآثار الكويكبات، وأزمة كوبا، والاحترار الكوني، والتضخم، والاتساع المالي، والانهيارات المالية، والاغتيالات السياسية. ولا نعرف ما المزيد. وقد خبرت في حياتي ثلاثة تغيرات مناخية، ورأيت صحة أفضل، وتعميراً أكثر، وغنىً أكثر، وتعليماً أفضل، ووسائل نقل أفضل، ومجاعات أقل؛ وجميعها جاءت إلى الكوكب بفضل العلوم والتكنولوجيا والرأسمالية. ويموت أناس في الشتاء أكثر مما يموتون في الصيف، وهناك تناقص أكثر في عدد السكان بسبب أحداث الابتراد العالمية مقارنةً بأحداث الاحترار العالمية. وعلى الرغم من ذلك فإننا الجيل الأول على كوكب الأرض الذي يخاف من الدفء.

منذ آلاف السنين والناس يتوقعون نهاية العالم. وكانوا بنوا هذه التوقعات على الدين والعلوم والرياضيات، وكانوا على الدوام مباركين بنغمات توافقية أخلاقية. فإذا كان واحد فقط من هذه التوقعات صحيح، إذن لأصبحنا في عداد

الأموات، ولن نكون هنا الآن. وإن للتوقعات معدل إخفاق 100 في المئة. ويصعب جداً أن تكون خاطئة 100 في المئة. وهؤلاء الذين يقومون بالتوقعات ليس لهم اهتمام في تحسين الحياة على الأرض، فهم يظهرون رفضاً كاملاً للحقيقة وحسب. ونحن البشر الضعفاء ربما نحتاج إلى الخوف من المجهول كآلية بقاء بيولوجية أساسية تجعلنا يقظين ومنتبهين للأخطار حولنا.

يحذرنا متحمسو المناخ من كارثة مستقبلية، وأن علينا أن ندفع كفّارة، ونغيّر طرقنا. وهم يستعملون مقداراً ضيقاً من العلوم وبعض الرياضيات لترسل الرسالة بدفع ديني. وليست هناك مناقشة عقلانية ممثلة، وبالتالي فلا يمكن للعقل أن يُستَعمل لتقويم بيانات مخالفة واستنتاجات مفتعلة. ولعلنا نتذكر كلمات جوناثان سويفت (Jonathan Swift) (1667 ـ 1745): «إنه لا جدوى من أن تجعل الإنسان يتعقل بشيء لم يكن قد عقله مطلقاً».

إن السياسيين وعامة الجمهور حمقى مرعوبون. وهناك خوف عالمي من أن النظرية القائلة إن النشاط البشري يسبب احتراراً كونياً ستناقش، وأنه سيتبين أن لهذه النظرية أسساً ضعيفة. ويقوم متحمسو المناخ بمحاولات لتقييد حرية الكلام ونداءات للحظر على آراء بديلة. وقد ميزت تصرفات كهذه طوائف دينية تخليصية عبر العصور.

إني أقترح أن نعامل متحمسي المناخ المعاملة ذاتها التي عومل بها رسل الهلاك والدمار السابقين مثل «الكونت فون إغلهايم»، و«ستيفيليوس»، و«الحاخام زيفي» و«وليام بل». وفي مرة قادمة يأتي بها أحد إلى بابك، ويقول لك إن العالم سينتهي، أطلق عليه الكلب. فالتاريخ بجانبك.

ليس هناك فائدة من عالم صادق يقول: «لا أعرف»، في الوقت الذي يكون فيه الشك هو صلب إشكالية العلوم، بينما يدعم التأكد المعتقدات غير العلمية. ويفضل السياسيون والعامة أن يسمعوا العلماء وهم يعطون أجوبة أبيض ـ أسود ملؤها الثقة، ويقدمون توقعات أكيدة. وإن الشك والتوقعات القائلة إن كل شيء على ما يرام ستجذب انتباهاً أقل من أولئك الذين يبشرون بالقدر المشؤوم.

وهنا، أنا أعلن أن نهاية العالم قد أُلغيت. فالتاريخ بجانبي.

الدين، البيئة، والرومانسية

إن أي نظام يسمح بالتساؤل في المعتقدات هو نظام متنور. وتحدد الحقيقة فقط بامتلاك نقد نابض بالنقاش التحليلي بدون خوف، وبقبول الشك بدل الخوف منه، وليس بقمع الدلائل التي قد تكون مخالفة لمعتقدات الشخص التي يقدرها. وقد قال جون ستيوارت ميل (John Stuart Mill) قبل نحو 150 عاماً: إن الحرية الكاملة لنقض رأينا ودحضه هي الشرط الأساسي الذي يبرر تمسكنا بالحقيقة في تصرفاتنا، ولا يمكن لأحد بملكات بشرية ضمن أي شروط أن يفرض بتوكيد عقلاني أنه على صواب.

وهذا لا يحدث مع حركة الاحترار الكوني المشعبنة. وفي المدارس اليوم، نعلّم «الحقائق» العلمية، بنفس الطريقة التي علمت بها «الحقائق» الثيولوجية قبل قرون. وقد أصبح الاحترار الكوني الدين المدني اليوم. وخلافاً لذلك، يتبع أولئك الذين يعملون في حقل المعرفة الوقائع والحقائق الموضوعية، وعليه فهم مجذرون في الحقيقة، وأنهم وفقاً لمعلومات موثقة ومثبته جديدة يمكن أن يبنوا معتقدات جديدة.

إن التسليم بعقيدة، وإخماد الأفكار البديلة، والاعتماد على السلطة، هي صفات الأديان المتشددة. ويهمنا جداً أن تعرف أن هناك أخطاء بيانات في نظام مصمم لإعطاء معلومات دقيقة عن درجة الحرارة، وأن هذه المعلومات هي الركن الأساسي لنماذج المناخ. ويبدو أن البيانات والعمليات العلمية ليست ضرورية في الدين المدني الجديد.

إن الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان فرضية علمية غير مثبتة، غير أنها أصبحت بنداً لمبدأ علمي. ويتحكم بعملية المراجعة السريعة (Peer Review) في أبحاث علم المناخ ما يقابل الرهبنة (Secular Equivalent) في للمجلس الروماني (Collegium Romanum)، الـ IPCC. وهم بالمقابل مسؤولون أمام محاكم التفتيش، ومتطرفي الاحترار الكوني، الذين لا يستطيعون في عالم اليوم أن يلجأوا إلى آلات التعذيب.

رغم حياتنا المادية المريحة في العالم الغربي، هناك كثير يسألون: هل هذا كل شيء؟ إنهم يريدون معنى لحياة ويتوقون إلى حياة روحية. ويتبع بعضهم الأديان التقليدية، وغيرهم يتبع معتقدات خارقة، وخرافات، ولا عقلانية،

وكثيرون يتبعون تنوعاً من الطرق الروحية. ولقد اتخذ الدين المؤسس في المجتمعات الغربية خطوة كبيرة إلى الوراء، وهناك فجوة روحية كبرى وكثير من الناس يريدون شيئاً يعتقدونه. وسيصدق الكثيرون بأي شيء لتعبئة الفراغ الروحي الواسع فقط.

لقد تم اختراع دين جديد لتعبئة هذه الحاجة: إنه «البيئية القصوى» (Extreme Environmentalism). وهو دين مديني إلحادي منفصل عن البيئة. وتوازي نشأة البيئية في الزمن والمساحة انحدار المسيحية والاشتراكية، وهي تشمل الكثير من ميزات المسيحية والاشتراكية. وتماماً كما اكتشفت الامبراطورية الرومانية، عندما اعتنق أعداد كبيرة ديناً جديداً، فعلى الدول أن تتبع. وإن البيئية دين مديني منفصل عن الطبيعة، أو الحياة القروية، أو حقائق إنتاج الطعام والمعادن. وهذا الدين البيئي مروع بالشك، غير أنه يدعي أنه مدعوم بالعلوم. إنه دين متطرف مع خوف من الطبيعة، وله كهنته الخاصون به مثل آل غور، ووثائقه المقدسة، وتقارير IPCC، وبروتوكول كيوتو. ويحدث الإرضاء الثيولوجي اللحظي مع سيناريوهات مستقبلية عديدة في ملخصات IPCC. وقلّة هم الذين قرؤوا بتفكر وفهموا الكتب المقدسة مثل كثير من التابعين الدينيين.

إنه مثل كثير من الأديان المتطرفة، يُجذَب المعتقدون بالإعلان عن نكبة رؤيوية، إلا إذا غيّرنا طرائقنا. والخوف قابل للصرف، ويستغل الدين المتطرف البيئي الجديد الخوف، وينجذب إليه أولئك الذين يعتقدون حقاً أن شيئاً يجب فعله لإنقاذ الكوكب. ويتكلم المتحولون ويتفاعلون مثل الإنجيليين التقليديين عند تحولهم («كيف تحولتم؟ بمعنى آخر، كيف قد تم أخذ أوراق اعتمادكم؟). ويعاد تكرار العقيدة بدون نهاية، وقد تم اختراع لغة جديدة تفصل المؤمنين عن غير المؤمنين، فإن للإنجيلية البيئية طقوس ولغة بدلت المادة. فالمنطق، والتساؤل أو بيانات مخالفة ليس مسموحاً بها. ويُدمر الهراطقة بالتحقيق. وفي عام 1600، أحرق جوردانو برونو (Giodona Bruno) على خازوق لدعمه نظرية كوبرنيكوس (Copernicus Theory) عن عالم مركزه الشمس. وفي عام 1632، اتهم غاليليو بالهرطقة لدعمه نظرية كوبرنيكوس وأجبر على التراجع. وأصدرت الجمعية الملكية الآن مرسوماً تفصل به كل أولئك الذين يقولون إن الشمس، وليس النشاط البشري، تُسبب تغيرات في مناخ الأرض. ومرة أخرى، إن الشمس وراء جميع المشكلات.

تلجأ طبقة جديدة من الكهنة إلى الطرائق التقليدية في ممارسة القهر؛ فلأجل تأسيس السيناريو الأساسي المحفز على الخوف، عيّنوا في دور الخطيئة الأصلية عنصراً مُحدَّداً، عنصراً واحداً من 92 عنصراً طبيعياً في الجدول الدوري. وإنه خيار عجيب للذهن العقلاني، غير أن أحدهم يعمل وفق المبادئ المؤسسة منذ زمن الأديان السلطوية. فلماذا هو عجيب؟ إن كنت تفكر بالسعي إلى لغز، وسحر، ومعجزات فلا تنظر إلى ما هو أبعد من العنصر السادس للجدول الدوري للعناصر.

وكمثل أديان متطرفة أخرى رؤيوية، يقول الاحترايون إن هذا العصر هو الزمن الأكثر أهمية في التاريخ، وعلى الناس أن يعوا بأن الإنسانية تواجه أكبر أزمة على الإطلاق. وعلينا أن نضحي تضحيات عظيمة. والآن، يدعم هذا الدين البيئي الجديد التفكير اليهودي ـ المسيحي. فإذا تغير العالم، فنحن الملامون. فدين العصر الجديد هذا يحاول أن يفك إلغاز العالم، عالم ليس لمريديه خبرة، ولا يحاولون أن يفهموا.

ينتج الدين البيئي خوفاً واسع الانتشار، وطوقاً من حكايا بسيطة واسعة التأثير، ويعطي وصفاً بديلاً وثابتاً عن عالم طبيعي لا يمتلك مريدوه منه إلا القليل من الصلة. وليست البيئية مجرد اتصالٍ مع العالم الطبيعي. هذا، ويوازي البناء النفسي لـ «الخضر» مفهوم «الطهورية»(*) للنفس البيوريتانية في «نيو إنغلند» (الولايات المتحدة الأميركية)، حيث تكون لبنية ما يقال أهمية أكثر من معنى ما يقال، وإن البيئية انقطاع غير علمي عن العالم الطبيعي، تنشأ من أسلوب حياة مديني حديث حيث تأتي أساسيات الحياة من الدكاكين. وتغلف الحياة المدينية المستهلكين من آثار أسلوب حياتهم، فيصبحون غير مسؤولين ويتمتعون بثمرات مستهلك بَطِر، برضاً، بينما يكون إنتاجهم قليل.

من الطبيعة يتم تَعلُّم خبرات بديلية؛ وتصبح هذه الخبرات رومانسية عبر التلفزيون أو الإنترنت. ولا يمارس البيئي المديني تجربة فيضان، أو جفاف، أو نيران غابات، أو زراعة ما يكفي من قوت لسد الرمق، وإخفاقات في المحصول، وعواصف غبار، أو طاعون يسبّبه الحشرات، ومواسم متغيرة. كما

(*) الطهورية: Puritanism.

لا يعرف البيئي المديني عن الطعام الموسمي، ولا يتذوقه بسبب التجارة الدولية السريعة.

توفر «البيئية» (Environmentalism) سبباً صالحاً وقويماً، ويعد السياسيون بحماية هذا وذاك، ويقوم الإعلام بتجهيز مصدر غير منته من الدراما مع كلّ ما يتوفر من المقومات الأساسية. وتشكل التحالفات غير المقدسة والمزيفة بين المجموعات البيئية أساس اللامسؤولية، ومن السياسيين، والبيروقراطيين، والأكاديميين والوسط الإعلامي. وتصبح مجموعات الأقليات (مثل المزارعين والمشتغلين بالتعدين) الذين يجهزون أساسيات الحياة المدينية مثل الأوز السمين أهدافاً سهلة لطلقات رخيصة المجموعات البيئية والسياسيين الرخيصة.

تروّج جماعات «يوم الدينونة» لدينها الجديد بارتجالية (سبع ثوان من عرض تلفزيوني) ومن دون موثوقية، ما يؤدي إلى خلق انشقاق بين الدين والعلم. فالعلوم المبنية على المشاهدة والتمحيص ميدانية في حقيقتها، أما نماذج الكمبيوتر فمبنية على المدينية (Urbanism). وتشجع الطريقة التي ينشق بها العلم، ويتفاقم الانفصال بين الدين الإلحادي المديني للبيئية والحقيقة القروية. أما العلوم المستمدة من التنوير والمغروسة في الشك فترمى قصداً من على ظهر السفينة إلى البحر. ويتم تجاهل الحقائق المخالفة، وتؤخذ تقارير حماسية من غير العلماء، ويتم التقرير عن علوم جديدة مع مضمونات تحذيرية، بدون أي اعتبار للتقارير التي تحمل معلومات مخالفة. ويكتب الصحافيون غير العلميين والمشهورون هجمات تحثّ على الانذار والاستنفار.

تحتضن «البيئية» المسعورة دمغات الأصولية المسيحية. إن نهاية العالم قريبة. ويوم الحساب قريب. عليك بالتوبة. وتواجه «البيئية» السقوط ـ وفقدان الانسجام بين الإنسان والطبيعة بسبب مجتمعنا المادي. وهي تبحث برومانسية عن الفردوس المفقود الذي كان في الماضي. لقد كان هناك منذ زمن بعيد برد قارس حقاً، وكفاح، وموت من الجوع، وسوء تغذية، وموت وبطالة. ولم يكن هناك انسجام مع الطبيعة. فلقد فقد البيئيون فردوسهم الذي لم يوجد أصلاً. ولقد أحرق الناس البيئة وأكلوها منذ أن كان آدم طفلاً. ونحن الجيل الأول الذي يحاول التصرف بشكل مختلف.

إن هذه الأزمنة هي الأفضل للعيش لمليارات الناس في العالم. ومن بكين إلى براتيسلافا إلى بنين، يعيش المزيد منّا مدة أطول، وبصحة أفضل، وحياتهم

أكثر راحة من أي زمن في التاريخ. وقلّة منّا هم الذين يعانون الفقر والجوع أو الأمية. وتراجع الطاعون والجوع والموت والحرب، ومشهد فرسان يوم الدينونة الأربعة (الكتاب المقدس)، بفضل القوى المحررة للرأسمالية، والعلوم والتكنولوجيا. وإذا كانت درجة الحرارة ترتفع بالفعل، فهذه أخبار جيدة. وتتلازم دورات الاحترار السابقة (على سبيل المثال، احترار العصور الوسطى، والاحترار الروماني، والاحترار المينواني) بالازدهار وتقدم الحضارة. ونقيضاً لذلك، كان البرد هو القاتل والمميت.

تحتضن البيئية وأديان التطرف نوعاً من الفوقية الأخلاقية عند المؤمن بها، وتحدث نوعاً من الشعور بالذنب. فقد دمرت شرورنا ميراثنا، وإنه وعلى الرغم من أن الوقت أصبح متأخراً، يمكن للإصلاح المباشر أن يحول المستقبل. وتُستغل حقيقة أننا نحن الغربيين يمكننا أن نعيش حياة مريحة كنوع من الذنب. وليست هناك حاجة إلى قول الحقيقة، كما وجدت ذلك في عدة معارك خضتها مع المحدثين[2202]. وإنني أرى اختلافاً قليلاً بين حركات المحدثين الأميركية والبيئية المتطرفة. وفي أوروبا الغربية حلّت البيئية القصوى محل المسيحية كدين إلحادي مديني للطبقات الوسطى، ويشهد المتحولون دينهم من خلال المنظمات غير الحكومية NGOs، والصندوق العالمي للطبيعة (WFN)[*]، والخضر (غرينبيس)، ومجلس العمل العالمي للتطور المساند (CSD)[**]، والمناقشات في ريو، ونيروبي، وبالي ونشاطات عديدة في الأمم المتحدة.

يبيّن التاريخ أن الجو كان أدفأ في الاحترار المينواني (Minoan Warming)، والاحترار الروماني، واحترار العصور الوسطى، واحترار أواخر القرن العشرين. فلماذا يكون احترار أواخر القرن العشرين أمراً خاصاً؟ ولماذا يُرفَض التاريخ والعلوم لأنهما لا يتوافقان مع مبدأ الكهنة؟ أوَ ليس من الخطر على المجتمع أن يرفض التاريخ لأنه لا يتوافق مع المبدأ. والعلوم احتفال بالشك، وهناك نقاش دائم عن البيانات وتأويل البيانات.

يحتضن الدين البيئي التوتاليتارية غير الإنسانية؛ إذ يعتبر البيئيون أفكارهم

(2202) Ian Plimer, *Telling Lies for God: Reason vs Creationism Milsons Point* (New York; London: Random House, 1994).

(*) الصندوق العالمي للطبيعة: (Worldwide Fund for Nature (WFN)).

(**) مجلس العمل العالمي للتطور المساند: (Counsil for Sustainable Development (CSD)).

ومناقشاتهم حقيقة لا تناقش، ويستعملون طُرقاً متطورة من المعالجات الإعلامية، وحملات العلاقات العامة، في ممارسة الضغوط على صانعي السياسة للوصول إلى أهدافهم. لقد أسست مناقشاتهم على نشر الخوف والذعر بإعلان أن مستقبل العالم يتهدده خطر جدي. ويستمرون، في جو كهذا، بدفع صانعي السياسة لتبنّي قياسات متعصبة، وفرض حدود تحكّمية، وقوانين، وحظر وقيود على النشاطات الإنسانية اليومية، وجعل الناس عرضة لاتخاذ قرارات بيروقراطية لا داعي لها.

إن لهيستيريا الاحترار الكوني أثراً بارداً على حرية الكلام. ويقال عن هؤلاء العلماء الذين، لهم نظرة مخالفة مبنية على دلائل، كروافض وجاحدين، ويقارنون بمنكري المحرقة. فإذا كانت النقاشات التي تدعم الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان قوية، فإن هذه الهيستيريا لا داعي لها. ومن توركيمادا (Torquemada) (كاردينال محاكم التفتيش في إسبانيا) إلى «ماكارثي» (أحد جنرالات الحرب العالمية الثانية الأميركيين)، كانت هناك نداءات للرقابة لحماية الشعب من الأفكار المخالفة التحريضية والخطيرة. فتوركيمادا أراد أن ينقذ الإنسانية من الهرطقة الدينية، وأراد ماكارثي أن ينقذ الأميركيين من الشيوعية، ويريد مراقبونا المحدثون أن ينقذوا الكوكب. من ماذا؟

انضم متحدث سابق باسم الجمعية الملكية إلى 37 موقعاً آخر يطلبون من شركة تلفزيونية القيام بتغييرات في فيلم مارتن دركن (*The Great Global Warming Swindle*) **خداع الاحترار الكوني الكبير**. وادّعوا أن لهذا الفيلم «سجلاً طويلاً من الأخطاء المتطرفة والعميقة»، وأن «هذه التحريفات» يجب إزالتها قبل توزيع الفيلم على الناس كـ DVD. وإن الـ 38 الذين اختاروا أنفسهم لم يكتبوا لآل غور يطلبون تصحيحات في فيلمه **حقيقة غير ملائمة** (*An Inconventional Truth*). وإضافةً إلى ذلك، هناك آلاف الـ DVDs في السوق تسوق ادعاءات علمية لدعم أفكار غريبة. فهل أخذ الـ 38 المختارون، في زخم اهتماهم بالشعب، على عاتقهم التعليق على أفكار غير علمية كهذه؟

يعترف غور أن هناك أخطاء في فيلمه، وبالرغم من ذلك، يحفز فيلمه نقاشاً عن تغير المناخ بين أولاد المدارس. وهذا مسموح به من الـ 38 المختارين، لأنه على الرغم من الأخطاء العلمية فهو يقدم المنظر الأخلاقي

الصحيح. ولأن «فيلم دركن» له منظر أخلاقي غير صحيح، فهو مذموم. وليس عند طلاب المدارس السعة والعمق في المعرفة العلمية لإظهار كميات الأخطاء العلمية في فيلم غور، كما إن فيلم غور لم يحفز نقاشاً عند أولاد المدارس. لذا تم قبوله كحقيقة.

يحدث ملء الفراغ الروحي من قبل البيئية فراغاً روحياً أكبر. فإن الدين البيئي المبني على كارثة تغير المناخ هو كارثة بحد ذاته نوجهها إلى أنفسنا بكلفة فكرية وأخلاقية وروحية واقتصادية. وقد تم إدراك ذلك منذ مدة طويلة من القادة الدينيين؛ فقد كتب، كاردينال أستراليا جورج بل (George Pell) على سبيل المثال ما يلي: لقد أدى التوق الوثني والخوف من الطبيعة إلى هيستيريا وادعاءات متطرفة عن الاحترار الكوني؛ ففي الماضي، ضحى الوثنيون بالحيوانات، وحتى بالبشر، في محاولات غير مجدية لتهدئة الآلهة النزويين والقساة، ويطلبون اليوم تخفيضاً في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

في العلوم، إننا مدينون للطبيعة. وفي الدين، إننا مدينون لله. غير أن الدين البيئي الجديد ليس مديناً لشيء، فهو فارغ وسلبي روحياً. وإن للمسيحية تقليداً طويلاً في استعمال الموسيقى للعبادة، وهذه الموسيقى، وبخاصة منذ زمن باخ (Bach) وما بعده، تدعم جميع الموسيقى الغربية. وليس للدين البيئي موسيقى، ولا تقاليد، ولا أبحاث، ولا شيء. كما ليس للدين البيئي الجديد أسئلة كبيرة، وليس لديه أمور غير معروفة. وعندما يدرك البيئيون النواحي الدينية لموقفهم، يصبح النقاش الحقيقي مع العلماء ممكناً. وحتى ذلك الحين، فإنهم ليسوا مختلفين عن المحدثين الذي يدعون أن موقفهم علمي عندما تكون أسسهم دينية، ودوغماتية، واحتيالية. الدين (Religare) يعني الربط السريع؛ وقد أعطى الدين المناقض للبيئية الناس هدفاً في الحياة تربط من خلاله المجموعات المتباينة واليائسة. وعلى الرغم من تجاهل كل العلوم المناقضة، يعطي هذا الدين الجديد بعض الغرزات التي تمسك بنسيج جلباب المجتمع مع بعضه البعض.

إن مختبر الحياة الدينية وممارستها هي الخبرة. وليس الدين حديثاً عن «الفطيرة التي في السماء» (Pie in the sky) عندما نموت، إنه عن الحاضر. ويحاول الدين أن يضع معنىً لما يحدث لنا الآن، ويزوّدنا بالآليات التي يمكننا من خلالها أن نأمل بحياة أفضل، على الرغم من خيبات الأمل المعطلة.

ويعطينا الدين الآلية للتعايش مع الإخفاق. أما البيئية فليس بإمكانها أن تعطي أياً من هذه الحاجات.

لقد التحقت حركة الاحترار الكوني بمجموعات متباينة لسبب مشترك. ولقد وحّدت مجموعة من التعصب والإجحاف مع وعي أخلاقي عال. يكره الرومانسيون البيئيون الصناعة، ويحبون الطبيعة، ويجعلون من حياة الفلاحة مثالاً، ويؤمنون بأن الرأسمالية شريرة، وأن الناس في المجتمع الحديث يقودون حياة ضحلة منحرفة، وقد نسوا القيمة الحقيقية للأمور، فهم لا يحبون السيارات أو السوبرماركت، ويكرهون الإنسان العادي الذي يأخذ رحلات رخيصة وطويلة إلى مناطق دافئة للعطل. ونسعى نحن بني البشر عادة إلى مناخ أدفأ لعطلاتنا. ربما إذن كان الاحترار جيداً لنا؟

يشمئز الرومانسيون البيئيون ويعتريهم الخوف من تزايد السكان، ويسعون إلى العودة إلى الماضي وتحفيز الخرافات الوثنية. وقبل أن تظهر دعامة الاحترار الكوني، كره الرومانسيون البيئيون العالم الحديث، على الرغم من حقيقة أننا نعيش أطول في المجتمعات الصناعية، ونتمتع بصحة أكثر، وقد أصبح الهواء والماء أنظف، وامتدت مساحة الغابات، ولدينا حريات كثيرة أكثر من الماضي. وأن أنظمة الاتصال كثيفة الطاقة للعالم الحديث هي التي سمحت للرومانسيين البيئيين بنشر كلمتهم.

إن عالم الرومانسيين البيئيين عالم خيالي فهو لا ينتج كهرباء أو مياهاً صالحة للشرب، ويحضر الطعام والحرارة من إحراق الروث، ومن الخشب أو الفحم ضعيف الجودة في كوخ صغير غير مهوى. وتُصدر نيران فحمهم دخاناً مسرطناً، وتحدث أمراضاً تنفسية (خاصة عند النساء)، وتدمر الغابات لتحدث تلوثاً جوياً واسعاً. ولن يكون هناك ضوء ولا حرارة في أكواخ كثيرة. وفي حاضرتهم سيكون معدل الهلاكات رهيباً. وبنظر الرومانسيين البيئيين فإن مجرد البقاء (Sustainability) سيعدّ فضيلة. ومجرد البقاء يعني بنظرهم أن الحياة مجرد البقاء، مع أقل تغير في الطقس، أو بالمناخ والسياسة، والتعايش مع أمراض ومجاعات واسعة وموت، يخلق عيشة تعيسة، وفقراً وجهلاً وأمراضاً وتناقصاً في عدد السكان.

ولدى الاعتماد كلياً على الطبيعة، يواجه أحدنا المجاعة والموت. وأن

يكون مبدعاً يركب الموجة المتغيرة فهي الطريقة الوحيدة التي عشنا بها نحن البشر؛ فالطبيعة الأم لا تبني جنات عدن للوعي البيئي. ولقد أعطتنا على الأقل 50 انقراضاً جماعياً، وهي أم الكوارث وتغير باستمرار القوانين غير المكتوبة.

يتلازم تراث الأديان اليهودية ـ المسيحية بقوة مع التفاؤل الفلسفي. فإن الله لم يضعنا هنا على الأرض للأنين والشكوى، وقد زوّدنا إرثنا الإنساني بما يكفي للتعامل مع تحديات العصور الجليدية ودببة الكهوف إلى الأمراض والزيادة الفائقة في عدد السكان. لقد تعاون الجنس البشري برمّته لإزالة الجدري، واتحد نساء المكسيك للتخفيف من متوسط حجمها العائلي من 7 إلى 2.5 خلال 50 عاماً. وقد ساعدتنا العلوم على فهم التحديات وهزيمتها. والعلم هو الطريق الوحيد لمعالجة المشكلات البيئية الحديثة مثل الملوّثات السامة في الهواء، واستعمال الفائض من المياه والتربة لموارد الكوكب. ويمكن فهم هذه المشكلات وحلولها مع العلوم الهادئة غير السياسية، فيما تمنع «البيئية» المتطرفة المبنية على إيديولوجيا غير علمية الحلول للمشكلات.

إننا من أكثر الأصناف المثيرة للشفقة على وجه الأرض. نولد بدون شعر، وغير قادرين على الحركة، مخلوقات ترضع لفترة طويلة، وليس لها أنياب ولا مخالب. ونستغرق سنيناً قبل أن نصبح مستقلين بما فيه الكفاية لإطعام أنفسنا. فحتى الصراصير والفئران يمكنها أن تعدو أسرع منا؛ ومع ذلك إننا نعيش على الجليد، وعلى مرتفعات في الجبال، وفي مستوى سطح البحر، وفي المناطق الاستوائية والصحارى. كيف فعلنا ذلك؟ لأننا لم نمالئ الطبيعة، بل تحديناها وهزمناها. وعلى الرغم من الكوارث الطبيعية، وقبل أن نصبح كثيري العجرفة، فإن الذي بقي على قيد الحياة وتحدى الطبيعة على الأرض وهزمها هي البكتريا؛ فهي أكبر كتلة بيولوجية على الأرض، وهي على كوكب الأرض منذ 4000 مليون عام، ويمكن أن تعيش في بيئات عدائية متنوعة؛ فلقد استمرت على قيد الحياة بعد خمسة انقراضات واسعة رئيسية على الأرض.

تتطلب عملية التركيب الضوئي CO_2 لاستمرار النبات ونموه. وتتطلب الحيوانات النباتات. ويبطئ التخفيض البارز في CO_2 الجوي نمو النبات أو يوقفه. والنتيجة النهائية للسياسات البيئية الخضراء لن تكون خضراء بل بنية اللون بتخفيض النبات الأخضر. وسيدمّر هذا الأمر الزراعة التي هي مورد الأرزاق، ويحدث مجاعات ومعاناة منتشرة.

إن نحو 40 في المئة من الناس على الأرض يتمتعون بشبكة كهرباء أو مياه صالحة للشرب. وهذه مسألة حياة أو موت. ويعيش الـ 40 في المئة هؤلاء في أمم فقيرة. وتولد الكهرباء الأرخص من الفحم الوسخ، وحرمان 40 في المئة من الناس من الكهرباء الرخيصة أمر غير أخلاقي. وفي العالم الغربي، نأخذ المياه النظيفة والكهرباء على أنهما أمران مفروغ منهما، وهذا إثبات أن الرأسمالية والعلوم والتكنولوجيا قد قدمت على مستوى مذهل، غير أن سياسات حركات الخضر، المبنية في الغرب، تبقي الفقراء في تعاسة، وتفاقم الأمراض القابلة للشفاء، وتحدث نقصاً في الغذاء، وتدمر الاقتصادات، وتقتل الناس، ولا تقدم حلولاً عملية لأولئك الذين يفتقدون مياه الشرب والكهرباء.

لا يهتم البيئيون الرومانسيون، أو يفضلون عدم الاهتمام، طالما أنهم يلتزمون بإيمانهم السياسي. وبمجرد ما يتبيّن أن الإيديولوجيا خاطئة، ينتقل الرومانسيون البيئيون إلى قضية أخرى تدعمها إيديولوجيا خاطئة أخرى. ويعرف هذا الإرجاء في الإنكار، والتسهيلات الدقيقة والشك والاعتماد على الإيمان بالحساسية الإنسانية (Human Fragility)[2203]. ولقد بدأت سياسات البيئيين الرومانسيين بالعض؛ ففي كثير من المدن الغربية الآن نقص في المياه أو تزويد متقطع في الكهرباء لأن محطات الطاقة أو الفحم أوالمحطات النووية بنيت كنتيجة لعقود من الضغط السياسي الأخضر.

فليسمع أحدنا، إذا كان لفيلم «آل غور» أمور غير دقيقة، فهل يجدر الإبلاغ عنها؟ هذا غير مقبول مهنياً وأخلاقياً وحقيقةً. ولذلك، فإن القليل من الخيال في البلاد الغربية المرتاحة قد يؤذي قليلاً، وقد ينتج منه بعض الخير. غير أن تنوعاً من الموارد في بلدان نامية لمخاطبة أسطورة تغير المناخ الذي يسببه الإنسان محفزة من «آل غور» تعدّ كارثة. وقد تستعمل الموارد المالية مع بعض الضغوط بشكل آخر للمساعدة على دفع قضايا، مثل تزويد المياه النظيفة، والكهرباء الموزعة، والخدمات الصحية، والتعليم.

إن هيستيريا الاحترار الكوني هي عملية تجارية كبيرة. «اتبع المال فحسب». وتدّعي عدة حركات خضر أن هؤلاء الذين لا يقبلون بأن الإنسان هو

(2203) «*That willing suspension of disbelief for the moment, which constitutes poetic faith.....*» (Biographia Literaria, Chapter XIV [1817], Samuel Taylor Coleridge [1772-1834]).

الذي يسبّب تغير المناخ لديهم هذه النظرة لأن الصناعات النفطية والفحمية تدعمهم. ويبيّن تقرير من مجلس الشيوخ الأميركي أن الخضر هم الربع الأفضل تمويلاً في صناعة المناصرة. جذبت حركات الخضر الـ 50 الأكبر في أميركا بين عام 1998 وعام 2005، ريعاً مقداره 22.5 مليار دولار[2204]. هذا الرقم هو الناتج المحلي الإجمالي GDP لبعض البلدان الأفريقية الفقيرة؛ ويمكن لأموال كهذه أن توفر تحسينات واسعة في صحة ملايين الناس، وسيكون لها أثر بيئي أعظم على الكوكب من التأييد.

يعطي بيورن لومبورغ (Bjørn Lomborg) فكرة غامضة عن الموضوعية المملّة[2205][2206] (Boring Objectivity) فقد أجرى تحليلات فائدة/ الكلفة لتحديات عالمية مثل الأمراض، والتلوث، والنزاع، والإرهاب، وتغير المناخ، والمياه وهكذا. ولم يكن تغير المناخ ضمن قائمة القمة العشر، فإذا كان قد صرف مليار دولار على المشكلات المهمة، فسيتم تجنيب 600,000 طفل من الموت، وسينقذ حوالى ملياري شخص من سوء التغذية، وسيوقف صرف ملياري دولار على تغير المناخ الاحترار مدة دقيقتين عند نهاية القرن الحادي والعشرين. وإذا صرف 60 مليون دولار في العام على إضافات غذائية صغيرة للأطفال الذين يعانون سوء التغذية، فسوف تكون الفوائد السنوية من خلال تحسين الصحة، والهلاكات الأقل والكسب المتزايد أكثر من مليار دولار. وليس عظيماً وسهلاً إبعاد الديدان عن الحيوانات، والتغذية المبنية على المجموعة، وإنهاء تعرفات التجارة والمياه النظيفة، ولا تبيّن الصور الأكثر إثارة لانشعاب المجلدات والأعاصير والحيوانات الجذابة مثل الدب القطبي الموجود على الجليد القضايا الأكثر إلحاحاً للإنسانية. وإذا أزيلت عاطفة مناقشة تغير المناخ والهيستيريا المرافقة له، وكانت هناك مطالبة لإيجاد الحقيقة الموضوعية عن وضع الكوكب، فسوف تكون قضايا أكثر إلحاحاً على الأجندة. ويبدو أن حركة الخضر سعيدة بجلب عين عمياء نحو قضايا ملحّة مثل الطب والتغذية.

(2204) < http://epw.senate.gov/public/index.cfm?FuseAction = Minority,Blogs&ContentRecord _id = 38d98c0a-23ad-48ac-d9f7facb61a7 > .

(2205) Bjørn Lomborg, *The Skeptical Environmentalist: Measuring the Real State of the World* (New York: Cambridge University Press, 2001).

(2206) Bjørn Lomborg, *Cool it! The Skptical Environmentalist Guide to Global Warming* (Published online, 31 August 2007).

لقد صرف نحو 10 مليار دولار شهرياً منذ ابتداء بروتوكول كيوتو لتجنب ارتفاع في درجات الحرارة بمقدار 0.5 بحلول 2050. وكانت هذه الأموال كافية لتغذية كل العالم الثالث بالمياه الصالحة للشرب، ولوزعت الكهرباء وخفضت التلوث الجوي العالمي.

وعلى الرغم من ذلك، يتحدث كثير من البيئيين عن الأخلاق!

بروتوكول كيوتو

على الرغم من الجعجعة الكبيرة، أصدرت IPCC في 2 شباط/ فبراير 2007 خلاصة لصانعي السياسة(*) لتقرير التقويم الرابع. فقالت الصحافة: «لقد استنتج تقرير IPCC عام 2007، الذي جمعه مئات من علماء المناخ، دونما أي لبس، أن مناخنا يحتبس بسرعة، وأننا متأكدون الآن بنسبة 90 في المئة أن معظم هذا الاحترار سببه النشاط البشري. ويتجاوز مقدار ثاني أكسيد الكربون في غلافنا الجوي الآن الأمد الطبيعي للـ 650,000 عام الماضية، وإنه يرتفع بسرعة بسبب النشاط البشري. وإذا لم يتوقف هذا المنحنى الآن، فسيكون ملايين الناس في خطر بسبب أحداث قاسية مثل موجات الاحترار، والجفاف والفيضانات والعواصف، وسوف تهدد سواحلنا ومدننا بمستويات البحر المرتفعة، وستصبح أنظمة بيئية كثيرة، ومزروعات وحيوانات معرضة إلى خطر حقيقي من الانقراض».

لقد بني بروتوكول كيوتو على تغيرات عالمية في درجة الحرارة، وتغير في مستوى CO_2 الجوي. ويبيّن مخطط لتقديرات متعددة في درجة الحرارة (هادلي وقمر اصطناعي) مقابل تركيز CO_2 (ماونا لوا) منذ بروتوكول كيوتو، أنه لا توجد علاقة بين درجة الحرارة وCO_2، في حين إن العلاقة بين درجة الحرارة وCO_2 كانت الأساس الذي بني عليه بروتوكول كيوتو. ويبيّن رسم درجة الحرارة CO_2 في الحقيقة ابتراداً، على الرغم من تزايد في مستوى CO_2 الجوي. إضافةً إلى ذلك، فإن ارتفاع CO_2 خطّي، على الرغم من أن انبعاثاته التي تأتي من اقتصاديات تنمو بسرعة مثل الصين والهند ليست خطية. وهذا يدق جرس الإنذار عن مدى صحة قياسات CO_2. تمتص المحيطات، والتربة، والنباتات

(*) خلاصة لصانعي السياسة، لتقرير التقويم الرابع (Summary for Policymarkers for the fourth Assessment Report).

نصف انبعاثات الإنسان لثاني أكسيد الكربون على الأقل، وقد حجمت انبعاثات الإنسان من قبل النظام الطبيعي المتوازن. على سبيل المثال، إن انبعاثات ميثان النمل الأبيض أقوى بـ 20 مرة من انبعاثات الإنسان لثاني أكسيد الكربون، وتصدر انفجارات بركانية واسعة في بضعة أيام (على سبيل المثال، بيناتوبو) ما يعادل إصدار الإنسان السنوي من CO_2.

يصنف بروتوكول كيوتو دول الخليج دولاً نامية، وبأنها غير ملزمة بتخفيض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ويمكنها أن تنتج ميغاواط ـ ساعة من الكهرباء باستعمال فحم أسترالي بقيمة 17.49 دولاراً أميركياً (على أساس قيمة الدولار في منتصف 2008). وباستعمال منتجات البترول المحلية، يمكنهم أن يولدوا ميغا واط ـ ساعة من الكهرباء باستعمال غازهم (41.34 دولاراً أميركياً) أو نفطهم (79.50 دولاراً أميركياً). ومن الأرخص لدول الخليج أن تستورد فحماً أسترالياً لتوليد الكهرباء وبيع النفط. وتولّد دول الخليج المشبعة بالشمس 36 ميغا واط من الكهرباء الشمسية، في حين أنتجت ألمانيا المظلمة 1300 ميغا واط عام 2007. واستعملت دول الخليج سعة بلدهم النامي لتوليد الطاقة الأرخص، بينما استعمل الألمان الطريقة الأعلى كلفة، التي لا يعتمد عليها لتوليد الكهرباء. وهكذا عندما تتحكم الإيديولوجيا بالعلوم والاقتصاد، تحدث أحداث غريبة.

يا عزيزي، يا عزيزي، يا عزيزي

إن النظرية القائلة بأن النشاط البشري يمكنه أن يولد احتراراً كونياً استثنائية، لأنها مخالفة للمعرفة المثبتة من الفيزياء الشمسية، وعلم الفلك، والتاريخ، والآركيولوجيا والجيولوجيا. وتتطلب الادعاءات غير العادية دلائل استثنائية. وقد أغرى تطلب دلائل غير عادية بعض العلماء بإحداث دلائل بطرق ملتبسة متنوعة.

قال إرفينغ لانغمويـر (Irving Langmuir)[2207]: هناك علم جيد، وعلم باثولوجي، وعلم زائف. وقال «لانغمويـر» إن هناك حالات لا غشّ فيها، ولكن عندما يُخدع الناس بنتائج خاطئة لنقص فهمهم بأنهم يُضَلَّلون، أو من خلال التأثيرات الشخصية، وتلبية المطالب. ويجذب علم الباثولوجي انتباه الإعلام

I. Langmuir, «Pathological Science: Scientific Studies Based on Non-Existent Phenomena,» (2207) transcribed and edited by R. N. Hall, *Physics Today*, vol. 36 (1989), p. 47.

كثيراً، مدة عقود، ثم ينسى بهدوء. وإن قواعد لانغوير هي:

(1) ينتج الأثر الأقصى الملاحظ بعامل مسبب ذي شدة يصعب كشفها.

(2) إن جميع الملاحظات تقترب من حد الرؤية البصرية.

(3) هناك ادعاءات ذات دقة متناهية.

(4) يمكن إحداث نظريات رائعة مخالفة للخبرة.

(5) يصطدم النقد بتبريرات خاصة خلال لحظة. وهناك جواب فوري دائماً للنقد.

(6) ترتفع نسبة مؤيدي النقاد إلى ما يقارب 50 في المئة، ثم تتناقص تدريجياً حتى النسيان. وخلال هذه العملية يستطيع المؤيدون فقط إعادة إنتاج التأثير، والنقاد لا يستطيعون.

يخفق العلم الذي يؤيد الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان ضمن ثلاثة من قوانين لانغوير على الأقل.

ومن خلال خبرتي التي تمتد إلى أكثر من 40 عاماً في العلوم، فإن البحث العلمي صعب، ويتطلب وقتاً، وقد تتطلب نظريات بعضنا المفضلة أن تترك بسبب الدلائل الجديدة المثبتة. والاكتشافات الجديدة البارزة المخالفة للدلائل المؤسسة والمثبتة، نادرة. ولا يحمل العلماء أي منارة أخلاقية مشعة، فإن الكثير من الاكتشافات مدعمة بالحماسة الشديدة والتضليل الشائع. وكما هي الحال في أي مجال آخر، تحدث أخطاء واحتيال وبيانات خاطئة وغباء؛ قال تشارلز بابادج (Charles Babbage) (1792 ـ 1871)[2208] إن هناك ثلاثة أشكال من الخداع العلمي:

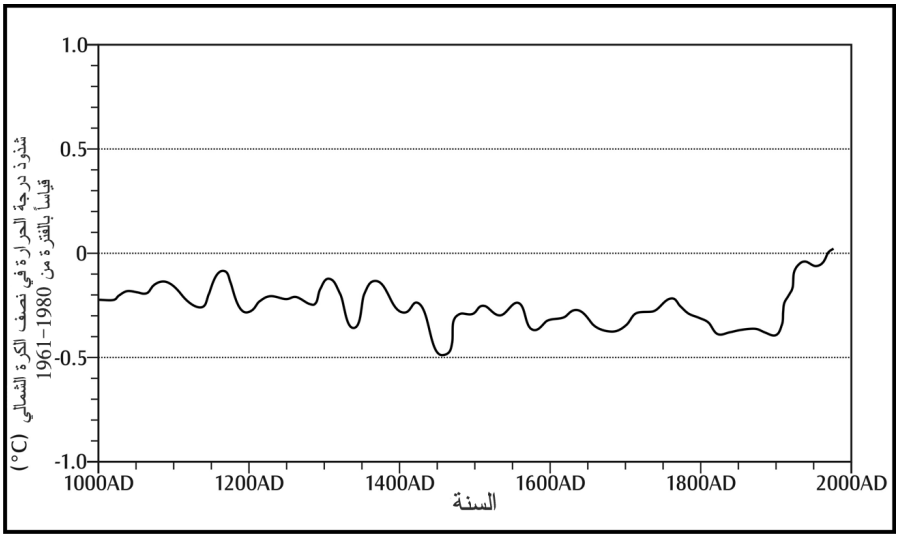
(1) التهذيب (صقل الأمور الشاذة لجعل البيانات تبدو دقيقة جداً).

(2) الانحياز (الاحتفاظ ببيانات توافق النظرية وطرح البيانات التي لا توافق النظرية).

(3) التلفيق (اختراع بعض البيانات أو كلّها).

(2208) K. Feder, *Frauds, Myths, and Mysteries: Science and Pseudoscience in Archaeology* (Mountain View, CA: Mayfield Publishing, 1996).

تحقق بعض العلوم المؤيدة للاحترار الكوني الذي يحدثه الإنسان (الجدير بالذكر «عصا الهوكي» لمان) اثنين من هذه المعايير. ويحقق «علم» الإحداث هذه كلها. كما يجري خداع في العلم، مثل أي خداع آخر من أجل الكسب المالي، والشهرة، والوطنية، والفخر السريع، والدين، والرغبة الروسوية (نسبة إلى روسو) في ماض رومانتيكي. وبعض العلوم الزائفة مثل إبداع «العلوم» هو ثمرة عقل فاسد.



الشكل 54: «عصا الهوكي» لمان، التي تحقق اثنين من المعايير الثلاثة لبباج (Babbage) للخداع العلمي. تتجاهل «عصا الهوكي» مئات الدراسات العلمية التي تبين أن احترار العصور الوسطى (900 ـ 1300) كان أدفأ من الحاضر، وأن العصر الجليدي الصغير (1300 ـ 1850) كان أبرد من الحاضر. وتحاول «عصا الهوكي» أن تبيّن أن درجات حرارة القرن العشرين ارتفعت ضمن معدل لا سابق له.

يلائم الكثير من الناس أن يصدقوا أن النشاط البشري له أثر بارز في درجة الحرارة. هذه في حقيقة الأمر من الحركات البيئية التي تتزيا بأزياء متعددة (على غرار، غرينبيس، WWF, FoE) وأحزاب الخضر السياسية، والسياسيين (الذين يرغبون باستعمال نظرية لتبرير أو عدم تبرير تصرفات كثيرة)، والإعلام (الذي يعتمد بقاؤه على قصص تجلب الانتباه)، وبعض العلماء (الذين يرونه خزانة

مترعة يعبون منها ما يشاؤن أبحاثاً، وسمعة طنّانة) والـ IPCC (التي سيختفي سبب بقائها إذا لم تجد فعلاً بشرياً مؤثراً).

ليس للعلماء، مثل المهن الأخرى، رهان على الأخلاق والصدق. غير أن عمليات المصادقة، والتكرار، والتناسق في العلوم هي التدقيق (Audit) طويل الأمد للعلوم. ولقد اكتشفت هذه العملية أخطاء وخداعاً وانحيازاً ثقافياً وعجزاً[2209]. ولا أعتقد أن العلماء يعالجون نتائجهم ليصلوا إلى الكسب غير المشروع لتمويل الأبحاث، غير أن هناك تمويل محدود للأبحاث، وإذا كان هناك موضوع مهم للبحث، فسيكون تمويله مفضلاً على تمويل مشاريع في مجالات أخرى. وإذا كان هناك حرب على السرطان، فسوف تصبح نسبة أكبر من الأبحاث البيولوجية أبحاثاً عن السرطان، وإذا كانت آثار الاحترار الكوني ترعبنا جداً حيث إنها ستحث المزيد من أمراض تحملها الحشرات، فسوف يكون لذلك مغزى انتخابي جيد لتحصيل تمويل أكثر لأبحاث تلك الأمراض.

رغم أن محلاق أوكام[2210] (Occam's Razor) يشيع استعماله في العلوم وهو قانون عام، فإن الطبيعة تلعب أحياناً حيلاً قاسية، والتفسير الأبسط ليس بالضرورة التفسير الذي تدعمه البيانات. ويجب اختبار الفرضيات. وتخفق النظرية التي تقول إن النشاط البشري أنتج احتراراً كونياً في عدد من المرات. وبمجرد ما تكون هناك فرضية أولية، تكون هناك توقعات مختبرة محددة. ولقد أخفقت التوقعات المبنية على فرضية تقول إن الإنسان قد أنتج الاحترار الكوني.

إن مجتمعنا الغربي مبني على العلوم، وهذه العلوم هي التي أعطتنا التكنولوجيا. وقد استعملت الرأسمالية هذه التكنولوجيا كثروة؛ وعلى الرغم من ذلك، فإن هناك عدداً كبيراً من الناس في البلاد الغربية يعتقد بأمور غريبة. وقد حدد مايكل شرمر (Michael Schermer) 25 مغالطة أدّت بالناس إلى الاعتقاد بهذه الأمور الغريبة[2211]. وتتبع النظرية القائلة إن النشاط البشري قد أنتج احتراراً كونياً على الأقل ستاً من هذه المغالطات الـ 25.

(2209) Stephen Jay Gould, *The Mismeasure of Man* (New York: Norton, 1996).

(2210) *Entia non sunt multiplicanda*.

(2211) M. Schermer, *Why People Believe Weird Things: Pseudoscience, Superstition, and other Confusions of our Time* (New York: W. H. Freeman and Company, 1997).

تنشر الأبحاث العلمية غير الرصينة (Flawed) التي تنسجم مع النموذج الشائع، بسهولة، بينما يصعب نشر الأبحاث الناقدة للنموذج الشائع؛ على سبيل المثال، تم الادعاء أن درجة حرارة الصيف في بورغندي (Burgundy) (فرنسا) قد نجمت منذ عام 1370 إلى اليوم من جني العنب[2212]. وادعى البحث أن عام 2003 كان الأدفأ منذ عام 1370، ولعل هذا التأكيد الجريء كان قد ساعد على النشر والدعاية الإعلامية. وبعد جهد ملتوٍ للحصول على البيانات الأولية للمؤلّف، والشكوى من المجلة (*Nature*) فقد بين دوغلاس كينان[2213] (Douglas Keenan) إحصائياً أنه لم يكن هناك أساس لهذا الادعاء.

وكتب كينان على موقعه على الإنترنت: «ليس المهم هنا صحة تأكيد قول شوين وآخرين (Chuine [et al.]) أو بطلانه عن درجات حرارة بورغندي، بل المهم هو أن بحثاً عن الموضوع الأكثر أهمية علمياً (الاحترار الكوني) نشر في المجلة الأكثر اعتباراً بدون التحقق من العمل قبل النشر».

لم تكن هذه المرة الأولى التي لم يتأكد فيها محررو ومراجعو مجلة **الطبيعة** (*Nature*) من أعمال مؤلفين يقومون بادعاءات مذهلة.

تبدو مجلة **شتيرن ريفيو** (*Stern Review*) مثيرة للإعجاب. ولا يمكن لمن يقرأ الصفحات الـ 21 الأولى المخصصة لـ «علم تغير المناخ» بدون أن يعجب بالمراجع الـ 74 وافتتاحية الفصل:

«يشير قسم كبير من الدلائل العلمية الآن إلى أن تغير المناخ قضية جادة وملحّة. إن مناخ الأرض يتغير بسرعة، وبشكل رئيسي نتيجة لزيادات في غازات الدفيئة التي يسببها النشاط البشري».

وطبعاً، لا تقول العلوم شيئاً عن ذلك. كما لا تقول العلوم إن تغير المناخ قضية جادة وملحّة. ويدّعي السياسيون والناشطون البيئيون ادعاءات كهذه، ولا تقول العلوم إن مناخ الأرض يتغير بسرعة؛ فالمناخ يتغير، كما هو دائماً، ولكن التغيرات الحالية أبطأ بكثير من التغيرات الماضية، حتى IPCC لم تتفق مع

(2212) I. Chuine [et al.], «Grape Ripening as a Past Climate Indicator,» *Nature*, vol. 432 (2004), pp. 289-290.

(2213) D. J. Keenan, «Grape Harvest Dates are Poor Indicators of Summer Warmth,» *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 87 (2007), pp. 255-256.

توكيدات **شتيرن ريفيو**. وصرحت IPCC[2214]: إن معظم الاحترار خلال السنوات الـ 50 الماضية كان بسبب زيادة في تركيز «غازات الدفيئة».

ولم يكتب شيء عن الإنسان أو عن تغير المناخ السريع، غير أن شتيرن ريفيو بادرت بالتحذير من أن درجة الحرارة سترتفع 0.7 درجة مئوية خلال الـ 150 عاماً القادمة. وهذا تماماً ما حدث خلال الـ 150 عاماً الماضية لمناخ ما بعد العصر الجليدي الصغير. وهذا ليس ارتفاعاً سريعاً، وإن الترددات في درجة الحرارة خلال الـ150 عاماً الماضية ليست ضماناً بأن درجة الحرارة سترتفع، وقد تنخفض، كما حدث في الماضي.

لقد حرفت مجلة **شتيرن ريفيو** عبارات IPCC بادعاء ما يلي: «استنتجت IPCC عام 2001 أن هناك دلائل جديدة وقوية بأن معظم الاحترار الملاحظ خلال الـ 50 عاماً الماضية على الأقل ينسب إلى النشاط البشري».

كانت عبارة IPCC في الحقيقة ما يلي: «هناك دلائل جديدة وقوية على أن معظم الاحترار الملاحظ خلال الـ 50 عاماً الماضية ينسب إلى النشاط البشري». ولقد بالغت شتيرن ريفيو بإضافة كلمات «على الأقل» وحذفت قول إن المناخ كان يبرد خلال نصف الـ 50 عاماً الماضية. إضافةً إلى ذلك، بالغت **شتيرن ريفيو** بنماذج زيادة درجة الحرارة من IPCC. وحول غاز الميثان الذي هو في خلاصته العلمية غاز دفيئة، تقول عنه **شتيرن ريفيو** إنه كان يتزايد في الـ 50 عاماً الماضية، غير أنه لم يكن كذلك. ولم يقم تقرير **شتيرن ريفيو** بأية محاولة لشرح سبب تناقص درجة الحرارة منذ 1998. ولكن شتيرن ريفيو تدّعي قائلة: «لو بقيت انبعاثات غازات الدفيئة السنوية في المستوى الحالي، فسوف يكون التركيز أكثر من ثلاثة أضعاف مستواها ما قبل الثورة الصناعية بحلول 2100، جاعلاً مستوى الاحترار من 3 درجات إلى 10 درجات مئوية بناءً على مشاريع المناخ الأخيرة».

وهذا خطأ. فليس هناك علاقة مؤسسة بين انبعاثات غازات الدفيئة وشدة

(2214) IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J.Ephraums (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

الاحتباس في الغلاف الجوي. ولا يعني تخفيض الانبعاثات بالضرورة تخفيضاً في تركيزها في الغلاف الجوي، إلا إذا كان البشر هم القوة الوحيدة التي تحرك كل العمليات الطبيعية على كوكب الأرض.

تتجاهل مجلة **شتيرن ريفيو** إحدى الملاحظات التحذيرية النادرة في خلاصة IPCC لصانعي السياسة، التي تدل على أن التغيرات الملاحظة قد تفسر بأثر الدفيئة «ولكنها لا تقصي احتمال أن تكون قوى أخرى قد ساهمت في ذلك»[2215]. وتجاهلت مجلة شتيرن ريفيو تحذيراً كهذا لتدّعي: «وكان الاستنتاج بعد أكثر من عقد من الأبحاث والنقاش... أن ليس هناك تفسير مقنع آخر للاحترار الملاحظ على الأقل للـ 50 عاماً الماضية»[2216].

وهذا أمر غير صحيح، فقد كانت هناك تفسيرات كثيرة مقنعة قدمت في النشرات العلمية[2217][2218][2219]، يقول أحدها[2220]: «إن الاحترار الكوني الملاحظ خلال الـ 150 عاماً الماضية هو مجرد فترة قصيرة من التاريخ الجيولوجي. وإن الاحترار الكوني الحالي هو على الأغلب أثر مجمع من النشاطات الشمسية والتكتونية المتزايدة، ولا يمكن نسبته إلى الأثر الأنثروبوجيني المتزايد على الغلاف الجوي. وقد يكون الإنسان مسؤولاً عن أقل من 0.01 درجة مئوية (حوالى 0.56 درجة مئوية لمتوسط الحرارة الجوية الإجمالية خلال القرن الماضي).

لقد تجاهلت مجلة **شتيرن ريفيو** أي بحث علمي مخالف؛ حتى أنها لم

(2215) *Summary for Policymakers*, p. 10, in: IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contributions of Working Group 1 to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

(2216) *Stern Review*, p. 3.

(2217) E. Kalmay and M. Cai, «Impact of Urbanization and Land Use Change on Climate,» *Nature,* vol. 423 (2003), pp. 528-531.

(2218) A. T. J. De Laat [et al.], «Industrial CO_2 Emissions as a Proxy for Anthropogenic Influence on Lower Troposphere Temperature Trends,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), L0524, doi:10.1029/ 2003GL019024.

(2219) R. C. Hale [et al.], «Land Use/Land Cover Change Effects on Temperature Trends at U.S. Climate Normals Stations,» *Geophysical Research Letters,* vol. 33 (2006), L11703.

(2220) L. F. Khilyuk and G. V. Chilingar, «On Global Forces of Nature Driving the Earth's Climate: Are Humans Involved?,» *Environmental Geology*, vol. 50 (2006), pp. 899-910.

تفهم أن النماذج المصممة على مضاهاة الـ 150 عاماً الماضية من المناخ باستعمال بيانات من عدة مصادر[2221][2222][2223] كانت ناجحة فقط في توقع الاحترار، ولكنها أخفقت في توقع الابتراد من 1998 فما بعدها.

واحتوت الصفحة الأولى من مجلة **شتيرن ريفيو** أخطاء أساسية في ذكر الحقيقة، أو المبالغة بها وأخطاء في الاستشهاد، وآراء، وإبداع العلم من لا شيء، وتحقيق المبدأ المرسوم من قبل. وصار الأمر أسوأ؛ على سبيل المثال، أُعيد رسم الأشكال البيانية مع خطوط قواعد مختلفة، وحذف ترتيب الدقة (Order of Accuracy). وفي مناقشة «عصا الهوكي» لمان التي حذف منها مفاعيل مهمة، ولعله من الممكن إخفاء هذه الصعوبات القليلة في عمل «مان» لأنه على الرغم من أن درجات الحرارة مختلفة قليلاً عن الماضي، إلا أن درجة الحرارة هي فقط خط واحد من «خطوط دلائل تغير المناخ الذي يسبّبه الإنسان»، وإذا لم تتغير درجة الحرارة أساساً، فمن الصعب رؤية أن المناخ يتغير. وتقول **شتيرن ريفيو** إن هذه الخطوط من الدلائل تعتمد على «قوانين الفيزياء والكيمياء». ولكن أي قوانين؟ ويبدو أنه إذا لم تتوافق الحقائق مع الاستنتاجات المرسومة من قبل فيجب حذفها.

تدعم المجلة الفكرة المفهومة بأن المناخ يتأثر خاصة بغازات الدفيئة (غازات البيوت الزجاجية). ولا تعترف مجلة **شتيرن ريفيو**، وفي تحليل اقتصادي، بأن مجلة رئيسية أخرى في المملكة المتحدة نشرت بحثاً عن اقتصاديات تغير المناخ[2224] قبل مجلة **شتيرن ريفيو** بفترة قصيرة. وهذا لا يعطي ثقة ومصداقية للمجلة.

ولقد دحض قادة اقتصاديون مجلة **شتيرن**

(2221) L. B. Klyashtorin, and A. A. Lyubushin, «On the Coherence between Dynamics of the World Fuel Consumption and Global Temperature Anomaly,» *Energy and Environment,* vol. 14 (2003), pp. 733-782.

(2222) C. Loehle, «Climate Change: Detection and Attribution Trends from Long-Term Geological Data,» *Ecological Modelling*, vol. 171 (2004), pp. 433-450.

(2223) S. R. Kotov, «Near-Term Climate Prediction Using Ice-Core Data from Greenland,» in: L.C. Gerhard [et al.], *Geological Perspectives on Global Climate Change,* Studies in Geology (American Association of Petroleum Geologists, 2001), vol. 47, pp. 305-316.

(2224) House of Lords Select Committee on Economic Affairs, 2nd report of Session 2005-2006. *The Economics of Climate Change*. (Volume 1: *Report*. Volume II: *Evidence*).

ريفيو[2225][2226][2227][2228][2229][2230][2231]، وبيّن اقتصاديون وعلماء أن اقتصاديات مجلة **شتيرن ريفيو** وعلومها تثير التساؤل[2232][2233]. وليس غريباً أن ترفض مجلة **شتيرن ريفيو** كونها نشرت وثيقة سياسية بالية لا تتعلق بالعلوم فتكلمت على استنتاجاتها المرسومة مسبقاً.

تفترض مجلة **شتيرن ريفيو**، وكذلك IPCC ضمناً أنه ما لم يتم بعض التدخل المنتظم فسوف يستمر الاستعمال المستقبلي للوقود الأحفوري بدون قيود بالعرض والكلفة. ولا يعتبر أيٌّ من هذه التقارير أيَّ احتمال لنقص تحدثه سياسة الخضر وما قد يعني ذلك. ولم يتوقع أيٌّ من هذه التقارير العجز المالي العالمي. وإذا لم تتمكن **شتيرن ريفيو**، وهي اقتصادية، من التوقع في مجال تخصصها وخبرتها، فما الأمل من توقعاتها بتغير المناخ؟

أخفقت مجلة **شتيرن ريفيو** في الإشارة إلى أيّ علم يناقض الادعاء القائل إن العلم الخاص بالاحتباس الحراري وأثر البيوت الزجاجية المتعلقة بالغازات الدفيئة التي تسبب الاحترار الكوني هو علم ثابت موطد، كما أخفقت في ملاحظة أن النماذج الكمبيوترية مصممة لمحاكاة الـ 150 عاماً الماضية من قياس درجة الحرارة، ولكنها تخفق في الإسقاطات المقبلة، وأخفقت في تقدير أن دراسات عن المناخ الماضي خلال فترات مختلفة من الزمن دلّت كلها على

(2225) I. Byatt [et al.], «The Stern Review: A Dual Critique, Part II: Economic Aspects,» *World Economics*, vol. 7, no. 4 (2006), pp. 199-229.

(2226) R. S. J. Tol, and G. W. Yohe, «A Review of the Stern Review,» *World Economics*, vol. 7, no. 4 (2006), pp. 233-250.

(2227) D. Henderson, «Report, Response and Review: An Argument in Britain on Climate Changes Issues,» *Energy and Environment*, vol. 17 (2006).

(2228) R. O. Mendelson, «A Critique of the Stern Report (sic).» *Regulation*, vol. 29, no. 4 (2006).

(2229) P. Dasgupta, «The Stern Review's Economics of Climate Change,» *National Institute Economic Review*, vol. 199 (2007).

(2230) W. Beckerman and C. Hepburn, «Ethics of the Discount Rate in the Stern Review on the Economics of Climate Change,» *World Economics*, vol. 8, no. 1 (2007).

(2231) D. Henderson, «Governments and Climate Change Issues: A Case for Rethinking,» *World Economics*, vol. 8, no. 1 (2007), pp. 183-228.

(2232) R. M. Carter, «The Stern Review: A Dual Critique, Part I: The Science,» *World Economics*, vol. 7, no. 4 (2006), pp. 167-198.

(2233) R. M. Carter [et al.], «Climate Science and the Stern Review,» *World Economics*, vol. 8, no. 2 (2007).

وجود احترار وابتراد، وأن الأرض في فترة ما بين جليدية، وبالتالي فإن تغير المناخ القادم سيكون ابترادا[2234][2235][2236].

تؤكد مجلة **شتيرن ريفيو** على «الذوبان البارز وتسارع انسياب الجليد بالقرب من الساحل» وعلى احتمال ذوبان «لا يُلغى» (Irreversible) لصفيحة جليد غرينلاند. ومن بين الأبحاث الأربعة التي اعتمد عليها للقيام بهذه التعبيرات، أظهر بحثان كسباً صافياً في صفيحة جليد غرينلاند[2237][2238]، وأشار الثالث إلى فقدان في الجليد[2239] واستعمل الرابع نماذج إرصادية (Meterological models) لتبيان عدم وجود اتجاه بارز معيّن[2240]. ولا يكسب هذا الاستعمال الانتقائي للبيانات **شتيرن ريفيو** أي فضل. وتم تجاهل الأبحاث التي بيّنت أن غرينلاند أبرد مما كانت عليه عام 1940[2241]، وأن درجة الحرارة تغيرت قليلاً من ثمانينيات القرن الثامن عشر[2242]. هذا ولم تذكر المجلة أن غرينلاند كانت بدفء ثلاثينيات القرن العشرين[2243]، أو أدفأ، وأن صفيحة جليد القطب الجنوبي كانت ولا تزال

(2234) L. F. Khiluk and G. V. Chilingar, «On Global Forces of Nature Driving the Earth's Climate: Are Humans Involved?,» *Environmental Geology,* vol. 50 (2006), pp. 899-910.

(2235) L. B. Klyashtorin and A. A. Lyubushin, «On the Coherence between Dynamics of the World Fuel Consumption and Global Temperature Anomaly,» *Energy and Environment*, vol. 14 (2003), pp. 733-782.

(2236) C. Loehle, «Climate Change: Detection and Attribution of Trends from Long-Term Geologic Data,» *Ecological Modelling*, vol. 171 (2004), pp. 433-450.

(2237) H. J. Zwally [et al.], «Mass Changes of the Greenland and Antarctic Ice Sheets and Shelves and Contributions to Sea-Level Rise, 1992-2002,» *Journal of Glaciology*, vol. 51 (2005), pp. 490-527.

(2238) O. M. Johannessen [et al.], «Recent Ice-Sheet Growth in the Interior of Greenland,» 20 October 2005, <http://www.scienceexpress.org>.

(2239) E. Rigot and P. Kanagaratnam, «Changes in the Velocity Structure of the Greenland Ice Sheet,» *Science*, vol. 311 (2005), pp. 986-990.

(2240) E. Hanna [et al.], «Runoff and Mass Balance of the Greenland Ice Sheet,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 110 (2005): doi 10.1029/2004JD005641.

(2241) P. Chylek, J. E. Box and G. Lesins, «Global Warming and the Greenland Ice Sheet,» *Climatic Change*, vol. 63 (2004), pp. 201-221.

(2242) B. M. Vinther [et al.], «Extending Greenland Temperature Records into the Late Eighteenth Century,» *Jounral of Geophysical Research*, vol. 111 (2006): doi10.1029/2005JD006810.

(2243) I. V. Polyakov [et al.], «Observationally Based Assessment of Polar Amplification of Global Warming,» *Geophysical Research Letters*, vol. 29 (2002): doi 10.1029/2001GL011111.

تنمو[2244]. كما لم تعترف مجلة **شتيرن ريفيو** بالشكوك والفجوات المعرفية في العلوم، واعتمدت على دراسات لم تظهر فيها بيانات ونماذج أولية، وعلى وثائق مؤيدة ولم تعتمد على وثائق علمية، وقبلت بدون نقد نماذج لشرح أسباب المناخ.

ولم تدرك مجلة **شتيرن ريفيو** أن المجتمعات التي لديها أنظف هواء وماء، وكفاية من الأطعمة الغذائية، والبيئات الأكثر جذباً ونظافةً، هي مجتمعات تكثر من استعمالها للتكنولوجيا والصناعة.

أعطت مجلة **شتيرن ريفيو** الحكومة البريطانية ما أرادت تماماً، ولم يحصل دافع الضرائب البريطاني قيمة المال الذي يدفعه، ويجب أن يكون غاضباً، وغاضباً جداً.

أُطلق تقرير غارنو (Garnaut) عن تغير المناخ وتجارة الانبعاثات المفوضة من حكومة العمال في أستراليا عام 2008. وكان البروفسور غارنو يتحدث باستمرار في الاعلام عن التلوث بالكربون المستمد من الصناعة. وكانت لديه مزرعة ماشية خاصة، وربما كان يعرف أن قطعانه هي مصدر واسع للميثان، وهو غاز دفيئة فعّال.

وكان غارنو منذ عام 1995، رئيس شركة ليهير غولد (Lihir Gold Ltd)، وهي شركة تضخ ملايين الأطنان من النفايات في المحيط مقابل الحيود المرجانية، كما أنه كان مدير شركة التعدين أوك تدي للمناجم (Ok Tedi Mining Ltd.)، وهي الشركة التي لوّثت عام 1999، 120 قرية على امتداد 1300 كيلومتر مربع بإطلاقها 80 مليون طن من النفايات التي أثرت في 50,000 شخص على امتداد نهر فلاي (Fly River) (بابوا نيو غينيا (Papua New Guinea)).

كان هناك بحث[2245] استعمل لحل قضية وردت في تقرير IPCC الأخير، فقد قالت IPCC إن تأثير «المدينية» على درجة الحرارة غير مهم (على سبيل المثال تأثير الجزيرة الحرارية)، وكان مؤلف هذا البحث وي ـ شيونغ وانغ،

(2244) D. J. Wingham [et al.], «Mass Balance of the Antarctic Ice Sheet,» *Philosophical Transactions of the Royal Society,* A 364 (2006), pp. 1627-1635.

(2245) P. D. Jones [et al.], «Assessment of Urbanization Effects in Time Series of Surface Air Temperature Over Land,» *Nature*, vol. 347 (1990), pp. 169-172.

كما ألّف مؤلّف آخر في الموضوع نفسه[2246]، وقارن كلٌّ من هذين البحثين قياسات لدرجة الحرارة أخذت من محطات رصد مختارة في الصين ابتداءً من 1954 وحتى 1983. وكانت إحدى المحطات التي اعتمدها وانغ عن الطرف الرياحي السائد لمدينة، ثم انتقل 25 كيلومتراً ليكون في الطرف الأسفل للمدينة. وكانت المحطة الأخرى في مركز المدينة ثم انتقل إلى محطة أخرى تبعد 15 كيلومتراً من ساحل البحر. توصل البحثان بالتتالي إلى ما يلي:

لقد تم اختيار المحطات بناءً على تاريخ المحطة، ولقد فضلت المحطة التي لديها تغيرات قليلة، إن كان هناك تغيرات، في الأجهزة، والموقع أو أوقات الملاحظة... وتم اختيارها بناءً على تواريخ المحطة: بعض المحطات المختارة لديها قليل من التغيرات في الآلية، أو الموقع، أو زمن الملاحظة.

لقد كان هذان التعبيران يمثلان البناء الأساسي للبحثين، وكلا التعبيرين ليسا صحيحين. فقد اختار المؤلفون 84 محطة إرصاد، ولم يكن لـ 49 منها تاريخ محطة[2247]. وما تبقى من المحطات الـ 35، كان لواحدة منها خمسة مواقع مختلفة من 1954 إلى 1983 وصولاً إلى مسافة 11 كيلومتراً بينها، وكان على الأقل لنصف المحطات تحركات ملموسة، وكان لعدة محطات أخرى تاريخ غير مترابط مما يجعل الحصول على تحليل يعتمد عليه للبيانات أمراً صعباً[2248].

المؤلف الرائد في البحث الأول (ب. د. جونز P. D. Jones) هو أحد المؤلفين المنسقين لفصل IPCC «السطح وتغير مناخ الغلاف الجوي»، وكان هو جونز نفسه الذي شارك في تأليف بحث ببيانات من بكين وشانغهاي بيّنت أن تغيير موقع المحطة يؤثر تأثيراً أساسياً في درجات الحرارة المقاسة[2249]. يتناقض هذا البحث تناقضاً مباشراً مع البحث الذي شارك فيه جونز مع وانغ. وكانت المقاربات[2250]

(2246) W. - C. Wang, Z. Zeng and T. R. Karl, «Urban Heat Islands in China,» *Geophysical Research Letters*, vol. 17 (1990), pp. 2377-2380.

(2247) <http://cdiac.esd.ornl.gov/ndps/ndp039.html>.

(2248) <http://www.infomath.org/apprise/a5620/b17.htm>.

(2249) Z. Yan [et al.], «Trends of Extreme Temperatures in Europe and China Based on Daily Observations,» *Climatic Change*, vol. 53 (2002), pp. 355-392.

(2250) مقاربات من الدكتور واروك هوتجز (Dr. Warwick Hughes) (أستراليا) لتقويم بيانات أولية كجزء من دراسة جزيرة الحرارة المدينية والبروفسور هانس فون ستورتش (Professor Hans von Storch) (ألمانيا) من عرض الأكاديمية الأمريكية للعلوم، 2 آذار/ مارس 2006.

لنسخة من البيانات الرئيسية لجونز (جامعة إيست أنجليا) قد قوبلت بهدوء، ثم: «لماذا يجب علي أن أجعل البيانات بين يديك، عندما يكون هدفك محاولة إيجاد أمر خطأ فيها؟» وهكذا تمّت إعاقة كل محاولة للحصول على البيانات الأولية، ثم استعمل قانون المملكة المتحدة لحرية المعلومات، ورفضت الجامعة بدايةً إصدار البيانات، وأجبرت نسخة من الرسالة لمكتب مفوض المعلومات في المملكة المتحدة الجامعة على إصدار هذه البيانات. وجعلت البيانات الأولية متوفرة في نيسان/أبريل 2007، بعد 17 عاماً من نشر البحثين اللذين اعتمدت عليهما الـ IPCC. ومنذ ذلك الوقت، بيّن عدد من الأبحاث أن الاحترار الكوني المقاس في الصين كان بسبب التمدن[2251][2252].

كان هناك تلفيق للبيانات التي اعتمدت عليها IPCC، وكان هناك نقص في التكامل في بعض الأعمال المهمة عن الاحترار الكوني، ولم تستعمل العملية الطبيعية من الشفافية في إصدار البيانات العلمية. ومن الواضح أن آثار التمدن على قياسات درجة الحرارة كانت معنوية جداً. وإن ادعاء IPCC عام 2007 بأن التمدن عامل غير مؤثر كان غير صحيح.

تطلب من الزمن نحو ثماني سنوات، ومع تحرك مباشر من مجلس النواب الأميركي قبل إصدار البيانات وبرامج الكمبيوتر لـ «عصا الهوكي» لمان عام 1998. وقد بيّنت هذه المعلومات نقصاً في التماسك وأخطاءً إحصائية وخداعاً. واستعملت IPCC «عصا الهوكي» بكثير من الجعجعة في تقريرها عام 2001، وركزت عليه في ملخّص لصانعي السياسة[2253]. ولم يظهر في تقرير IPCC التالي، إلا في إشارة بليدة مدفونة في الجزء العلمي من التقرير[2254]. ولم يكن هناك تفسير. وهذا يدل على أن IPCC كانت على علم بأن: «عصا الهوكي» لم تكن حقيقية. ولو كانت «عصا الهوكي» حقيقية، لكانت المعرفة الوحيدة التي تدل

(2251) D. Yihui [et al.], «Detection, Causes and Projection of Climate Change over China: Overview of Recent Progress,» *Advances in Atmospheric Sciences*, vol. 24 (2007), pp. 954-971.

(2252) J. F. He [et al.], «Assessing the Effect of Land Use/Land Cover Change on the Change of Urban Heat Island Intensity,» *Theoretical and Applied Climatology,* vol. 90 (2007), pp. 217-226.

(2253) IPCC, *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group 1 to the Thrid Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

(2254) IPCC, *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,* edited by Solomon [et al.] (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2007).

على احترار كوني سببه الإنسان. ولا تزال «عصا الهوكي» تستعمل من قبل متطرفين بيئيين وبعض العلماء الذين يروّجون للاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان.

جعل اثنان من الإرصاديين من اختيار المعلومات العلمية الورادة في IPCC قضية[2255]. وعندما تعارضت أبحاث المراجعة السريعة (Peer Review) الواردة في دوريات دولية مع النظرة أن درجة الحرارة العالمية القريبة من السطح تتزايد، تم ببساطة تجاهل هذه الأبحاث. ولم يكن الناس واعين بأن علماً كهذا لم يعتبر، وسوف يفترضون أن IPCC كانت موضوعية ولن تتأثر بالاستنتاجات المبنية على معلومات غير مكتملة. وكان لدى الناس كل الحق ليثقوا بأن جميع البيانات والاستنتاجات المتنافسة ستخرج للعلن، لأن تقرير IPCC عام 2007 ذكر ذلك[2256]: «صورة شاملة ودقيقة عن الوضع الحالي العالمي للمعرفة عن تغير المناخ».

كانت أبحاث كهذه متوفرة لمؤلفي الـ IPCC الرئيسيين. إلا أن حذفهم كانت له دلالته على أن العلوم والاستنتاج في الملخص التنفيذي لتقارير IPCC كانت قد رسمت استنتاجاته مسبقاً، ولم تكن الأبحاث المرفوضة فائضة، ولكنها لم تدعم التقويم المعروض في تقرير الـ (IPCC WG1). وتبيّن أمثلة من ستة أبحاث مأخوذة من عشرات الأبحاث المحذوفة نقصاً في الموضوعية[2257][2258][2259][2260][2261][2262]. وفي الفصل المهم (الفصل

(2255) <http://climatesci.colorado.edu/2007/06/20/documentation-of-ipcc-wg-bias-by-roger-a-pielke-sr-and-dallas-staley-part-1>.

(2256) <http://www.ipcc.ch>.

(2257) J. Hansen [et al.], «GISS Analysis of Surface Temperature Change,» *Journal of Geophysical Research*, vol. 104 (1999), pp. 30997-31022.

(2258) T. N. Chase [et al.], «A Comparison of Regional Trends in 1979-1997 Depth-Averaged Troposheric Temperatures,» *International Journal of Climatology,* vol. 20 (2000), pp. 503-518.

(2259) Y. K. Lim [et al.], «Observational Evidence of Sensitivity of Surface Climate Changes to Land Types and Urbanization,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L22712, doi: 10.1029/2005GL02424267.

(2260) J. E. Gonzalez [et al.], «Urban Heat Islands Developing in Tropical Coastal Cities,» *EOS*, vol. 86 (2005), p. 397.

(2261) K. G. Hubbard and X. Lin, «Re-Examination of Instrument Change Effects in the U. S. Historical Climatology Network,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), L15710, doi: 10.1029/2006GL027069.

(2262) S. A. Foster and D. Logan, «The GeoProfile Met Data, Exposure of Instruments, and Measurement of Bias in Climate Record Revisited,» *International Journal of Climatology*, vol. 26 (2006), pp.1091-1124.

التاسع)، لتقرير IPCC، هناك 40 من 53 مؤلفاً شاركوا في تأليف الأبحاث أو عملوا في المؤسسات نفسها كمؤلفين آخرين لهذا الفصل[2263]. وهناك كل احتمال بأنهم عملوا مراجعين لبعضهم البعض. وهذا يدل دلالة قوية على أن ادعاءات IPCC هي تلك التابعة لمجموعة صغيرة من واضعي نماذج المناخ، وليس مقطعاً التقائياً لعدة مجالات تتعامل مع المناخ، والمناخ القديم، ودراسات الغلاف الجوي، والفيزياء الشمسية، وعلم الفلك، والآركيولوجيا والتاريخ والجيولوجيا. وإن لهذه المجموعة من واضعي نماذج المناخ كل شيء ليكسبوه ولا شيء ليخسروه بالترويج لمناقشة واحدة فقط. وهناك ثابت واحد: ليس هناك نقص في خبراء المناخ المصممين بأنفسهم والذين يرغبون بالقيام بتوقعات شيطانية ووضع أحكام.

تناقض أبحاث علمية كثيرة توقعات IPCC عن الطقس الشديد التطرف، والفيضانات والجفاف المتزايد بسبب الاحترار الكوني الذي يسبّبه الإنسان. وتجاهلت IPCC جميع هذه الدراسات العلمية؛ على سبيل المثال، تم تخصيص عدد شهر حزيران/يونيو 2003 من الدورية العلمية «الأخطار الطبيعية» (Natural Hazards) للتحقق إن كانت شدة الطقس نتيجة لإصدار الإنسان لثاني أكسيد الكربون، واستنتج المحررون أن معظم الدراسات لم تجد علاقة كهذه. وهذا يبيّن أنه ليس هناك من سبب لقبول النقيض. وتبيّن بيانات انسياب أنهر مدتها 44 ـ 100 عام من مركز بيانات الجريان العالمي في كوبلنز في ألمانيا (Global Runoff Data Centre (Koblenz, Germany))، عدم وجود نموذج من الفيضان المتزايد أو المتناقص[2264]. ولم يكن هناك تغير عالمي في هطول الأمطار منذ أن بدأت قياسات الأقمار الاصطناعية[2265]. وقال المؤلفون في دراسة عن الجفاف في الولايات المتحدة الأميركية من 1925 إلى 2003[2266]: «أصبح معظم

(2263) J. McLean, *Prejudiced Authors, Prejudiced Findings: Did the UN Bias its Attribution of «Global Warming» to Humankind* (Washington, DC: Science and Public Policy Institute, 2008).

(2264) C. Svensson, Z. W. Kundzewicz and T. Maurer, «Trend Detection in River Flow Series: 2. Flood and Low-Flow Index Series,» *Hydrological Sciences Journal*, vol. 50 (2005), pp. 811-824.

(2265) T. M. Smith, X. Yin, and A. Gruber, «Variations in Annual Global Precipitation (1979-2004): Based on the Global Precipitation Project 2.5 Analysis,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), doi: 10.1029/2005GL025393.

(2266) K. Andreadis and D. Lettenmaier, «Trends in 20th Century Drought over the Continental United States,» *Geophysical Research Letters*, vol. 33 (2006), doi 10.1029/2006GL025711.

الجفاف أقصر وأقل تكراراً وأقل شدة ويغطي جزءاً صغيراً من البلاد».

إن جميع توقعات مجلة **شتيرن ريفيو** وIPCC حول تأثير الاحترار الكوني الممكن كانت منحازة واختيارية، وجميعها تميل نحو تحذير لا مبرر له.

تم الإسراع بخلاصة لصانعي السياسة للـ IPCC ذات الصفحات الـ23 لمؤتمر بالي عام 2007. وقد كانت وثيقة سياسية بامتياز، ولم يكن لمتن التقرير علاقة بالعلوم. ولقد نشر التقرير الرئيسي للـ IPCC الذي يشمل العلوم بعد ذلك بكثير، وبالتالي فإن العلوم في خلاصة لصانعي السياسة لم يمكن المصادقة عليها، بينما كانت النقاشات السياسية في بالي تتقدم. وإن هذا طبعاً لم يكن ضرورياً. وبيّنت خلاصة لصانعي السياسة ابتراداً في 100 عام من 160 عاماً الماضية، حيث كانت غازات الدفيئة تتزايد. وهذا يدل بالتأكيد على أن ثاني أكسيد الكربون من فعل بني البشر لا يحرك المناخ الحديث. وليس هناك دليل على علاقة بين التزايد في غازات الدفيئة ودرجة الحرارة.

تقول خلاصة لصانعي السياسة إن الترسبات في جنوب أفريقيا تراجعت من 1900 ـ 2005. وهذا خطأ. وربما كانت تلك محاولة لكسب أصوات أفريقيا في بالي (Bali). وازداد الترسب بنسبة 9 في المئة خلال هذه الفترة. وهذه العبارة مخالفة لادعاء لاحق في الصفحة نفسها بأن أحداث الترسبات الثقيلة ازدادت خلال هذه الفترة. وعلى الرغم من حقيقة أن المناخ يتحرك نتيجة استلام وإعادة توزيع الطاقة الشمسية، إلا أنه ليست هناك محاولة لربط الظاهرة الشمسية بدرجة حرارة السطح العالمية، والمتوسط العالمي لمستويات سطح البحر وغطاء الثلج؛ فالقوة المحركة للمناخ على الأرض حذفت، بدون تفسير، أو تحليل نقدي. ولا نستطيع أن نقرأ في أيّ مكان أن هناك قسماً كبيراً من الدلائل من الفيزياء الشمسية والفلكية والجيولوجيا والآركيولوجية والتاريخية لتبيان أن هناك نظريات منافسة تتعلق بتغيرات المناخ الحديثة والقديمة. ويعطي صانعو السياسة السيناريو المعاكس وهو أن النشاط الشمسي لا يسبّب الابتراد، على الرغم من جبل من البيانات التي تبيّن أن هناك علاقة متوازية بين النشاط الشمسي ودرجة الحرارة ضمن مدى متعدد العقود. رغم أن النشاط الشمسي قد حذف من الاستنتاج، إلا أنه لم تتوفر أنه محاولة لرفض العلاقات التاريخية الموثقة جيداً بين النشاط الشمسي ودرجة الحرارة، فقد حذفت من ملخص لصانعي السياسة. ويبدو أن صانعي السياسة قد ضُلّلوا.

إن الطبيعة لا تطيع تمنياتنا. ولم ترتفع درجة الحرارة العالمية بالتوافق مع انبعاثات غازات الدفيئة للسنوات الـ 10 الماضية. وقد انخفض متوسط درجة الحرارة العالمية، خلافاً لجميع التوقعات والنماذج والسيناريوهات. وهذا هو التغير الأسرع والأكبر في درجة الحرارة خلال الـ 100 عام الماضية. فكم عام علينا أن نعاني بدون ارتباط بين ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة؟ لقد بردت الأرض بين 1940 و1976، ولكن هذا معقلن من مؤيدي الاحترار الكوني الذي يسببه الإنسان، لأنه حدث بسبب كميات متزايدة من الضمخان والضباب. فما هو عذر ابتراد ما بعد 1998؟ وإذا كان السب لأنه يتبع حدثاً طبيعياً (حدث إل نينو فوق العادي 1998)، فلماذا لا يمكن لاحترار القرن العشرين وابتراده أن يكون بسبب حدث طبيعي آخر؟ لقد تبع القرن العشرون القرون الستة للعصر الجليدي الصغير. وبالطبع ليس من المستحيل أن يكون الكوكب قد بدأ يحتبس بعد العصر الجليدي الصغير؟ وعلى الرغم من حقيقة أنه يبرد، فلدينا الآن توقعات مؤيدي الاحترار بأن المناخ سيستمر في الاحترار، على الأقل لنصف السنين في العقد الذي يلي 2009 حيث من المتوقع أن هذه السنين ستتجاوز السنوات الأكثر احتراراً في السجل[2267]. وسوف يختبر الزمن هذا التوقع، وتعطي معظم التوقعات ادعاءات مذهلة للقرون القادمة، وهي توقعات آمنة، حيث سيكون المؤلفون قد ماتوا قبل إمكان التأكد من توقعاتهم.

لكن البيئيين يناقشون المبدأ الوقائي؟ وهذا المبدأ قد أعدّه البيئيون[2268]، ويدعمه افتراض أن الكوكب ليس ديناميكياً[2269]. هذا، ويترك مبدأ البيئيين الوقائي الإثبات العلمي وفكرة الإثبات؛ فهو يجعل الخوف غير المبرر شرعياً، ويطرح اتخاذ قرار غير عقلاني بجعله شكلاً فنياً. فمن يحدد الأخطار؟ لقد استعمل بروتوكول مونتريال المبدأ الوقائي لمحاولة حظر الكلوروفلوروكربونات

(2267) D. M. Smith [et al.], «Improved Surface Temperature Prediction for the Coming Decade from a Global Climate Model,» *Science*, vol. 317 (2007), pp. 796-799.

(2268) A. Deville, and R. Harding, *Applying the Precautionary Principle* (Sydney: Federation Press, 1997).

(2269) I. M. Goklany, *The Precautionary Principle: A Critical Appraisal of Environmental Risk Assessment* (Washington, DC: CATO, 2001).

CFC_s لأن هذه الغازات تدمر الأوزون. غير أننا نستعمل الكلور كل يوم لجعل الماء ملائماً للشرب، وأن الكلور يدمر الأوزون. وليس هناك شيء كمبدأ وقائي في العلوم. ولم يوقف أي مقدار من الوقاية، مهما كان، تغير المناخ الطبيعي. وهناك خطر 100 في المئة للتخريب من الطقس وتغير المناخ، وهذا يحدث كل يوم في مكان ما على الأرض. وإذا اتبعنا مبدأ الوقاية حتى خلاصته المنطقية، فلن ننهض من سريرنا أبداً. وفي فكرة أخرى، ربما علينا أن ننهض من سريرنا لأن المزيد من الناس يموتون في السرير أكثر من الذين يموتون وهم واقفون، وبالنهوض من السرير، فإننا نقلّل من خطر الموت.

لا بد أن الدكتور روجيه ريفيل (Roger Revelle) الراحل، مستشار آل غور العلمي، يلتفت في قبره. لا سيما أنه شارك قبل أن يموت في تأليف بحث مشهور، يقول[2270]: «إننا نعرف القليل لكي نتصرف بناءً على الاحترار الكوني. ولو تصرفنا، فيجب أن يكون تصرفاً يمكننا تبريره وحده بدون الاحترار الكوني».

حاول جماعة «غور» أن يزيلوا اسمه بعد وفاته من البحث بادعاء أن ريفيل كان قد خرفَ، وأخذ أحد الذين شاركوا «ريفيل» في التأليف القضية إلى المحكمة وربحوها. وبقي اسم ريفيل في البحث[2271]. فهل نشرت محاولة قمع العلم هذه على العامة؟ لا، ولا يزال الكسب الذي يكسبه غور جارياً. وقد حقق الفيلم 50 مليون دولار أميركي، وتبلغ حصته من 100,000 ـ 150,000 دولار أميركي للمحاضرة الواحدة، وهو مؤسس مشارك ورئيس لإدارة استثمار الطاقة المستدامة من قوة الرياح والشمس، وقبل عضوية هيئة ليمان برذرز (الراحلة)، وهي مؤسسة كانت ستستفيد من تجارة رخص الإصدارات المالية التجارية. ويعيش «غور» في منزل من 20 غرفة بالقرب من نافيل (في تينيسي) ((Nashville (Tennessee) ويستهلك 221,000 كيلو واط ساعة من الكهرباء في العام فقط، وهو 20 ضعف متوسط المستهلك الأميركي، ويدافع عن ذلك بقوله

(2270) S. F. Singer, C. Starr and R. Revelle, «What to do about Greenhouse Warming: Look before you Leap,» *Cosmos*, vol. 1 (1991), pp. 28-33.

(2271) S. F. Singer, «The Revelle-Gore Story: Attempted Political Suppression of Science,» in: M. Gough, ed., *Politicizing Science: The Alchemy of Policymaking* (Stanford, CA: Hoover Institution, 2003), pp. 283-297.

إنه اشترى قيم طاقة مجددة لتحقيق استعماله. وممن اشتراها؟ قد حزرتها، من شركته «إدارة استثمار التوليد» (Generation Investement Management)[2272] التي تعود إلى رجل صنع ثروته من البترول، ويقوم غور الآن بترعيب الناس من الاحترار الكوني، بينما يحقق لنفسه ثروات من تجارة الإصدارات المالية.

إن لائحة التحريفات العلمية طويلة، وإن محاولة التعامل مع هذه التحريفات يشبه المناقشة مع الإحداثيين الذين يخطئون في الاستشهاد، ويلفقون دلائل، ويستشهدون من خارج السياق، ويتجاهلون الدلائل المناقضة ويحدثون دلائل من العدم. ويتطلب تبيان التحريف الخاطئ مجلدات، كما بُيِّن في معركة الثماني سنوات لتبيان أن بحث «مان» ومن معه (1998) كان مخادعاً. وبغضّ النظر عن الطرق التي قد يستعملها «مان» وحلفاؤه، فإن الاحترار الكوني والعصر الجليدي الصغير يرفضان أن يذهبا[2273]؛ وإليك مثال على ذلك: إن كتاباً[2274] ألّفه كاتب علم خيالي غابريال ووكر (Gabrielle Walker) والعالم اللامع في المملكة المتحدة (السير دايفد كينغ (Sir David King)) مليء بالألغاز من صنف العلوم الاختراعية. وقد ذكرت فيه «عصا الهوكي» المرفوضة. وقد وصف الكتاب[2275]، الأيقونة الأسمى للاحترار هذه على أنها الدراسة الأكثر رفضاً في تاريخ العلوم. غير أنه، وعلى الرغم من أن «عصا الهوكي» هذه قد تمّ رفضها في الكتابات العلمية، إلا أنها لاتزال تستعمل في المواضيع الساخنة. وقد قمع إعادة كتابة «عصا الهوكي» للتاريخ الدلائل القائلة إن درجات الحرارة كانت أعلى في العصور الوسطى من الآن، وهذا لا يخدم قضية الاحترار، كما لا تخدمه الصور التي بيّنت الدببة القطبية وهي تتمدد فوق الجليد العائم، التي لا تعترف بأن عدد الدببة القطبية يتزايد، وأنه حيث توجد دببة قطبية اليوم، لابد أنها عاشت في أزمنة أدفأ في الماضي الحديث مثل احترار العصور الوسطى، والاحترار الروماني، والاحترار المينواني، وذروة الهولوسين وفترات ما بين

(2272) World News Daily, 2 March 2007, «Gore's carbon offsets paid to a firm he owns.»

«موازنات غور للكربون مدفوعة لشركة يمتلكها».

(2273) W. S. Soon [et al.], «Reconstructing Climatic and Environmental Changes of the Past 1000 Years: A Reappraisal,» *Energy and Environment,* vol. 14 (2003), pp. 233-296.

(2274) G. Walker and D. King, *The Hot Topic: How to Tackle Global Warming and still Keep the Lights On* (London; New York: Bloomsbury, 2007).

(2275) Melanie Phillips, *The Spectator* (7 February 2009).

جليدية ماضية عديدة. وعلى ووكر وميث (Walker and Smith) أن يعرفا ذلك. وحتى لو ظهرت الدببة القطبية أولاً في العالم الإحداثي (Creationist World) في التاسعة صباحاً من 26 تشرين الأول/أكتوبر عام 4004 قبل الميلاد، فكان عليها أن تعيش خمس فترات من الاحترار الكوني قبل أن تدخل احترار أواخر القرن العشرين.

إن إعصار «كاترينا» هو أيقونة تحذير أخرى. وما يخفق المؤلفون في ذكره هو أن نشاط الإعصار كان أشد في خمسينيات القرن العشرين، وأن أحد أسباب الدمار الرئيسي في نيوأورليانز كان انهيار السدود وانخساف «نيوأورليانز» أمام «كاترينا». ويذكر ووكر وسميث العدد المتزايد من المرات التي كان على سد التايمز أن يغلق بدون ذكر أن شرق إنجلترا ينخفض، أو أن هذا الهبوط معروف منذ الأزمنة الرومانية، أو أن الحاجز أغلق لإبقاء مياه النهر داخلاً بدلاً من إبقاء مياه البحر خارجاً. ومرةً أخرى، هناك حذف لبيانات دقيقة يؤدي إلى تحريف. ويقول ووكر وسميث إنه كان هناك 35,000 حالة وفاة قبل أوانها سببها موجة الحر الأوروبية عام 2003، ولا يركزون على أن عدداً أكبر من الناس يموتون من برد قارس في أوروبا. وليست هذه الأخطاء أموراً بديهية أو وجهة نظر ـ فبنية نقاشات مؤيدي الاحترار مبنية على معلومات مرفوضة.

تقول التوقعات في بلدي، إن أستراليا، وهي قارة جافة بخاصة، معرضة لتخريبات الاحترار الكوني. ويقول التفكير الشائع إن درجات الحرارة الأعلى ستنتج تبخراً متزايداً، فتجفف القارة أكثر. وإن هذه النظرة مخالفة للبيانات الجيولوجية عن احترارات سابقة بيّنت هطول أمطار متزايداً، وامتلاء البحيرات الداخلية الجافة بمياه جارية وازدهار للحياة. وقد حدث التصحر طويل الأمد وهطول الأمطار المنخفض خلال أزمنة من الابتراد الكوني، وبخاصة خلال التجلد عندما كانت أستراليا، وإن لم يكن جزء كبير منها مغطى بالجليد، وكان فيها رياح قوية خفضت من حياة النبات، وأضافت رذاذاً بحرياً، ونقلت الكثبان الرملية. والنظرة الشائعة مخالفة للـ 100 عام من سجلات درجة الحرارة وهطول الأمطار في أستراليا التي تبيّن أن الجفاف كان في الأزمنة الأبرد، توافقاً مع الدلائل الجيولوجية.

هذه النظرة قد تبدو معارضة لحقيقة أن التبخر المتزايد من المحيطات (حوالى 7 في المئة لكل درجة حرارة مئوية متزايدة لسطح البحر) يوفر بخار ماء متزايداً في الغلاف الجوي. وبخار الماء هذا يترسب كمطر. لقد قلّلت نماذج كمبيوتر IPCC من شأن معدل المترسبات العالمي مع ارتفاع درجة الحرارة باستعمال 1 ـ 3 في المئة من التبخر المتزايد لكل زيادة بدرجة حرارة مئوية[2276]. وإن إسقاطات الجفاف المتزايد في أستراليا إظهار لعجز نموذج الكمبيوتر ولا تعكس ما حدث في القرن العشرين وعبر الزمن الجيولوجي. وإن ما يجعل الأمور أسوأ هو أن نماذج IPCC لا تعالج موضوع الغيوم، وهي محرك الطقس.

قد يبدو ذلك خطأً ثانوياً، غير أن له تشعبات رئيسية؛ فالتبخر يتطلب طاقة، وكلما زاد التبخر، كانت درجة حرارة سطح البحر أبرد. ويعزز ثاني أكسيد الكربون الجوي المتزايد تأثير البيوت الزجاجية (الاحتباس) بالإشعاع الرجعي المتزايد. وبناءً على ذلك، هناك ارتفاع في درجة حرارة سطح البحر حتى يوازن فقدان الطاقة المتزايدة من السطح بالإشعاع الرجعي. وبفهم التبخر، يكون التزايد المحسوب في درجة حرارة السطح أعلى بكثير وصولاً إلى توازن الطاقة. ويضع التبخر المتزايد مزيداً من غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، وبشكل رئيسي بخار الماء، غاز الدفيئة الأكثر وفرة. وينتج هذا ارتفاعاً أكثر في درجة الحرارة. سيزيد التقليل من شأن التبخر، تأثير البيوت الزجاجية في الغلاف الجوي كما هو الحال في نماذج الكمبيوتر الحالية، من آثار غازات الدفيئة في الغلاف الجوي. وتبين النماذج الكمبيوترية غير الصحيحة أن مضاعفة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي سينتج زيادة في درجة الحرارة مقدارها 2.5 درجة مئوية (بدلاً من 0.5 درجة مئوية كما حسبتها تقنيات أخرى). وتستعمل أرقام عالمية كهذه من IPCC والنشطاء البيئيين. ولقد أدى استخدام تقديرات عالية لدرجات الحرارة إلى اقتراحات مرعبة عن ظاهرة تأثير البيت الزجاجي، و«نقاط الذروة» واللاانعكاسية في اتجاهات المناخ. وبيّنت تغيرات في مناخات سابقة أن محتوى ثاني أكسيد الكربون الجوي أعلى من محتوى ثاني أكسيد الكربون الجوي الحالي، أدت

F. Wentz [et al.], «How Much More Rain Will Global Warming Bring?,» *Science,* vol. 317 (2276) (2007), pp. 233-235.

إلى انحباس حراري ستمر، و«نقاط ذروة»، ولا انعكاسية في اتجاهات المناخ. وإني أتساءل إن كان محذرو المناخ فكروا بسجلات لب الجليد التي تبين ارتفاع ثاني أكسيد الكربون الجوي بعد تزايد في درجة الحرارة، وأن درجة الحرارة تزداد إلى نقطة عليا ثم تبدأ بالتناقص. وتكمن الأجوبة في النظر إلى الطبيعة، وليس إلى شاشة كمبيوتر.

يمكن لنماذج المناخ مع عوامل مختلفة للغيوم والرطوبة أن تغير توقعات درجة الحرارة العالمية، التي تمتد من زيادة مقدارها 11.5 درجة مئوية إلى ابتراد خفيف. والشك الكبير الآخر هو التلوث الجوي من جسيمات دقيقية مستمدة من الصناعة. وقد تكون تخفيضات دراماتيكية حديثة في التلوث الصناعي في أوروبا قد حركت درجة الحرارة إلى أعلى مما توقعناه من نماذج الاحترار الكوني[2277]. الأمور العظيمة غير المعروفة هي جسيمات غبار من خارج الأرض، رذاذات من أصل بركاني. وتعكس الجسيمات الجوية بعض طاقة الشمس رجوعاً إلى الفضاء[2278]. وكان حجم التأثير أعظم بكثير من المتوقع، ويضع عدداً من الأسئلة[2279]. والابتراد من 1940 إلى 1975 كان معقلناً بسبب الحرب العالمية الثانية والتصنيع بعد الحرب الذي أنتج تزايداً في الجسيمات الجوية. وإذا كان الأمر كذلك، فيمكن أن تكون الممارسات الصناعية الأفضل قد ساهمت في كل الاحترار من 1976 ـ 1998 ثم راحت الصناعة تصدر جسيمات معلقة مرة أخرى من 1998 إلى الابتراد ما بعد 1998.

ماذا لو كنت مخطئاً؟

هذا ليس سؤالاً يسأله الاحترايون. وإنني أسأل هذا السؤال نفسي لأنني كعالم مدرك بأن العلوم لم تستحم يوماً بماء اليقينية. فماذا سيحدث لو أن جميع فيزياء الشمس، وعلم الفلك، والتاريخ، والآركيولوجيا والجيولوجيا المعروضة

(2277) C. Ruckstuhl [et al.], «Aerosol and Cloud Effects on Solar Brightening and the Recent Rapid Warming,» *Geophysical Research Letters*, 35 L12708 (2008) doi: 10.1029GI034228.

(2278) M. Wild [et al.], «From Dimming to Brightening: Decadal Changes in Solar Radiation at the Earth's Surface,» *Science*, vol. 308 (2005), pp. 847-850.

(2279) N. Bellouin [et al.], «Global Estimate of Aerosol Direct Radiative Forcing from Satellite Measurements,» *Nature,* vol. 438 (2005), pp. 1138-1141.

في هذا الكتاب كانت خطأ؟ ماذا لو أن البشر يغيرون المناخ بإضافة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي؟

يجيب خطاب من الفيكونت مونكتون أوف برنشلي (Viscount Monckton f Brenchley)[2280] عن السؤال الذي أسأله، وهذه هي نقاطه:

حتى لو ارتفعت درجة الحرارة العالمية، فتكون قد ارتفعت في خط مستقيم ضمن 0.5 درجة مئوية في القرن لمدة 300 عام منذ أن تعافت الشمس من «ماوندر الدنيا». وكان هذا قبل أن يكون لعصر التصنيع أي أثر[2281].

وحتى لو تسارع الاحترار، فإن درجة الحرارة الحالية هي تحت 7 درجات مئوية لمعظم الـ 500 مليون عام الماضية، وتحت 5 درجات للفترات ما بين الجليدية الأربع الحديثة، ووصلت إلى 3 درجات تحت الاحترارات المينوانية والرومانية واحترار العصور الوسطى[2282][2283]. وإننا نعيش في كوكب بيوت زجاجية دافئ رطب وبركاني، كان فيه جليد لأقل من 20 في المئة من الزمن، وإنه من غير العادي للكوكب أن يكون بارداً هكذا.

حتى لو لم يسبق احترار اليوم، فإن الشمس هي السبب المحتمل، فقد كانت أكثر نشاطاً في السنين الـ 70 الماضية مما كانت عليه في الـ 11,400 عام الماضية[2284][2285][2286].

حتى لو لم تكن الشمس ملامة عن تغيرات درجة الحرارة في القرن العشرين، فلم تبين IPCC أن الإنسان هو الذي يجب أن يلام. ويحتل ثاني

(2280) تستمد التعليقات في الصفحات التالية القليلة من خطاب لكريستوفر مونكتون (Christopher Monckton) إلى الجمعية الحكومية المحلية، بورنماوث، 3 تموز/ يوليو 2008 ويعاد إنتاجها بالإذن.

(2281) S. -I. Akasofu, «A Suggestion to Climate Scientists and the Intergovernmental Panel on Climate Change,» *EOS*, vol. 89 (2008), p. 108.

(2282) J. R. Petit [et al.], «Climate and Atmospheric History of the Past 420,000 Years from the Vostok Ice Core, Antarctica,» *Nature*, vol. 399 (1999), pp. 429-436.

(2283) J. T. Houghton, G. J. Jenkins and J. J. Ephraums, *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Working Group 1 Report* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1990).

(2284) I. G. Usoskin [et al.], «Millennium-Scale Sunspot Number Reconstruction: Evidence for an Unusually Active Sun Since the 1940s,» *Physical Review Letters*, vol. 91 (2003), pp. 211101-211105.

(2285) D. H. Hathaway [et al.], «Evidence that a Deep Meridional Flow Sets in the Sunspot Cycle Period,» *The Astrophysical Journal*, vol. 589 (2004), pp. 665-670.

(2286) S. K. Solanki and N. A. Krivova, «Solar Irradiance Variations: From Current Measurements to Long-Term Estimates,» *Solar Physics*, vol. 224 (2004), pp. 197-208.

أكسيد الكربون من الغلاف الجوي واحداً من عشرة آلاف أكثر اليوم مما احتله عام 1750 فقط[2287].

وحتى لو كان ثاني أكسيد الكربون ليلام، فلم تحدث كارثة أثر بيت زجاجي (احتباس حراري) في الفترة الكامبرية قبل 500 مليون عام عندما كان ثاني أكسيد الكربون الجوي أكثر من الآن بعشرين مرة، وكانت درجة الحرارة أدفأ من الآن بـ 7 درجات مئوية[2288].

حتى لو سجلت مستويات ثاني أكسيد الكربون سجلاً استثنائياً، فلم تسجل محطات قياس درجة الحرارة احتراراً منذ عام 1998. وقد انخفضت درجات الحرارة لمدة سبع سنين؛ وكان انخفاض كانون الثاني/يناير 2007 ـ كانون الثاني/يناير 2008 هو الأكبر منذ عام 1880[2289].

حتى لو لم يكن الكوكب يبرد، فإن معدل الاحترار أقل بكثير مما توقعته IPCC، وصغير جداً لكي نهتم به. وقد لا يكون هناك احترار جديد حتى 2015، إذا حصل[2290].

حتى لو كان الاحترار مؤذ، فإن تأثيره في الإنسان صغير. وقد تبدو التغيرات الملاحظة طبيعية[2291][2292][2293][2294][2295][2296].

(2287) C. D. Keeling and T. P. Whorf, «Atmospheric Carbon Dioxide Record from Mauna Loa,» (2004), <http://cdia.ornl.gov/trends/co2/sio-mlo.html>.

(2288) J. T. Houghton [et al.], *Climate Change: The Scientific Basis* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

(2289) GISS; Hadley; NCDC; RSS; UAH: all 2008.

(2290) N. S. Keenlyside [et al.], «Advancing Decadal-Scale Climate Prediction in the North Atlantic Sector,» *Nature,* vol. 453 (2008), pp. 84-88.

(2291) J. T. Houghton [et al.], *Climate Change: The Scientific Basis* (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 2001).

(2292) E. Hanna [et al.], «Increased Runoff from Melt from the Greenland Ice Sheet: A Response to Gobal Warming,» *Journal of Climate*, vol. 21 (2007), pp. 331-341.

(2293) R. S. Lindzen, «Global Warming: The Origin and Nature of the Alleged Scientific Consensus,» *Cato Institute*, vol. 15 (2008), p. 2.

(2294) R. W. Spencer, «How Serious is the Global Warming Threat?,» *Society*, vol. 44 (2007), pp. 45-50.

(2295) F. J. Wentz [et al.], «How Much More Rain will Global Warming Bring?,» *Science,* vol. 317 (2007), pp. 233-235.

(2296) J. S. Armstrong, «Global Warming: Forecasts by Scientists Versus Scientific Forecasts,» *Energy and Environment*, vol. 18 (2008), pp. 7-8.

حتى لو كان الأثر الإنساني في المناخ معنوياً، فإن دليل IPCC حول الأثر الإنساني في المناخ (على سبيل المثال، الاحترار الاستوائي منتصف التروبوسفير ثلاث مرات من معدل السطح) غائب[2297][2298][2299].

حتى لو كانت بصمة الإنسانية عن الاحترار الكوني موجودة، فلا يمكن لنماذج المناخ أن تتوقع بمستقبل المناخ المعقد المشوش إلا إذا عرفنا وضعه الأولي بدقة وهو أمر تعجيزي[2300][2301][2302].

حتى لو كانت نماذج الكمبيوتر دقيقة في تنبوءاتها فهي لا يمكنها توقع المعدلات المقبلة للاحترار. وإن استجابة درجة الحرارة إلى غنى غاز الدفيئة الجوي هو دخل (Input) للكمبيوتر، وليس نتاجاً (Output) منه[2303].

حتى إذا كانت «الحساسية المناخية» العلية للـ IPCC نحو ثاني أكسيد الكربون صحيحة، فإن الكوارث سوف لن تتبع على الأغلب. وإن طريقة المراجعة السريعة (Peer Review) التي تعتمدها الدوريات ستكون قريبة من الإجماع في عدم توقع كارثة مناخية[2304].

حتى لو كان آل غور محقاً بأن الأذى قد يحصل، إلا أن سيناريو المعركة الفاصلة أو أرماغيدون (Armageddon) الذي يرسم له ليس مبنياً على أي نظرة

(2297) D. H. Douglass, B. D. Pearson and S. F. Singer, «Altitude Dependence of Atmospheric Temperature Trends: Climate Models Versus Observation,» *Geophysical Research Letters,* vol. 31 (2004), arXiv: physics/0407074v1.

(2298) R. S. Lindzen, M. D. Chou and A. Y. Hou, «Does the Earth have an Adaptive Infrared Iris,» *Bulletin of the American Meteorological Society,* vol. 83 (2007), pp. 417-432.

(2299) R.W. Spencer, «How Serious is the Global Warming Threat?» *Society*, vol. 44 (2001), pp. 45-50.

(2300) E. N. Lorenz, «Deterministic Nonperiodic Flow,» *Journal of the Atmospheric Sciences*, vol. 20 (1963), pp. 130-141.

(2301) F. Giorgi and X. Bi, «Regional Changes in Surface Climate Interannual Variability for the 21st Century from Ensembles of Global Model Simulations,» *Geophysical Research Letters*, vol. 32 (2005), L13701, doi: 10.1029/2005GL023002.

(2302) Houghton [et al.], *Climate Change: The Scientific Basis.*

(2303) S.-I. Akasofu, «A Suggestion to Climate Scientists and the Intergovernmental Panel on Climate Change,» *EOS*, vol. 89 (2008), p. 108.

(2304) K. -M. Schulte, «Scientific Consensus on Climate Change?,» *Energy and Environment,* vol. 19 (2008), pp. 281-286.

علمية. وقد يرتفع مستوى سطح البحر قدماً واحداً، وليس 20 قدماً كما يدّعي غور[2305][2306][2307].

حتى لو كانت «أرماغيدون» محتملة، إلا أن حملة التوقّي والذعر غير المسوّغة قد عرّضت الملايين للمجاعة، حيث إن الوقود البيولوجي يستعمل أرضاً زراعية، ويضاعف أسعار البذور النباتية في عام[2308].

حتى لو كانت حملات الوقاية لا تقتل الفقراء، فلن تكون أفضل من الحضر الوقائي على الـ DDT الذي قتل 40 مليون طفل قبل أن تنهيه الأمم المتحدة[2309].

حتى لو أدت حملات الوقاية مفعولها إلا أن الأذى الاستراتيجي الذي حل بالإنسان بقتل فقراء العالم وتدمير الازدهار الاقتصادي للغرب سيفوق أي فائدة مناخية[2310].

حتى لو زادت الفوائد المناخية من تخفيف آلام الملايين من حالات الموت التي تسببها، فسيكون التكيف إن كان ضرورياً وأقل كلفة، وأقل أذى.

حتى لو كان لتخفيف الآلام كلفة وأثر كالتكيف، فإن القطاع العام الذي يصدر ضعف كمية الكربون التي يصدرها القطاع الخاص، عليه أن يقطع نصف انبعاثاته قبل أن يوعظنا.

إن القوى الإنسانية درجات من الحجم والضخامة تقل كثيراً عن القوى الطبيعية التي تحرك المناخ[2311]. وإن الابتراد الكوني والاحترار الكوني الملاحظ خلال الـ 150 عاماً الماضية فترة قصيرة في التاريخ الجيولوجي. وعلى الأغلب،

(2305) N. -A. Moerner, «Revolution in Cretaceous Sea Level Analysis,» *Geology,* vol. 9 (1981), pp. 344-346.

(2306) N. -A. Moerner [et al.], «Geomagnetism and Climate V: General Conclusions,» *Geophysical Research Abstracts*, vol. 5 (2003), p. 10168.

(2307) Houghton [et al.], *Climate Change: The Scientific Basis* (1990).

(2308) UNFAO, 2008.

(2309) برنامج الأمم المتحدة للملاريا، الدكتور أراتا كوشي (Dr. Arata Kochi) 2006.

(2310) D. Henderson, «The Treatment of Economic Issues by the Intergovernmental Panel on Climate Change,» *Energy and Environment*, vol. 16 (2005), pp. 321-326.

(2311) L. F. Khilyuk and G. V. Chilingar, «On Gobal Forces of Nature Driving the Earth's Climate: Are Humans Involved?,» *Environmental Geology*, vol. 50 (2006): doi 10.1007/s00254-006-0261-x.

فإن الاحترار الكوني الحالي نتج من الآثار المجتمعة لمحركات طبيعية عديدة للمناخ، ولا يمكن نسبتها إلى الأثر الإنساني فقط. ومن المهم أن نحصل على العلوم صحيحةً قبل مناقشة السياسة. وللأسف لم يحدث ذلك.

فكم من أمثلة عن توقعات مخفقة، وافتراضات مرفوضة، وبيانات غير صحيحة وممارسات غير جيدة يتطلب ابتلاعها قبل أن يفقد تغير المناخ الذي يسببه الإنسان مصداقية؟

وإن أثر النشاط البشري على كوكب الأرض يحتاج إلى رؤية متأنية. فكما قال البابا بنيديكتوس السادس عشر: من المهم أن تعالج التقديرات في هذا الموضوع بتعقل وتدبر، وبالحوار مع الخبراء وأصحاب الحكمة، وأن لا تحكم بالضغط الإيديولوجي لرسم استنتاجات مستعجلة، وفوق كل شيء مع هدف الوصول إلى اتفاق على نموذج من تطور مستدام مدعوم وقادر على ضمان صحة الجميع، بينما يحترم التوازنات البيئية.

وتفوق رحمة الله الغباء البشري، وهذه الرحمة مطلقة.

الثبت التعريفي

العصر الطباشيري Cretaceous: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي، وأنظمة الصخور وترسبات الفترة الثالثة والأخيرة من الدهر الوسيط، ويتصف بتطور المزروعات الزهرية واختفاء الديناصورات.

العصر الحجري Neolithic: ما يتعلّق بالفترة الممتدة من 10,000 سنة قبل الميلاد في الشرق الأوسط وغيره، ويتصف بتطور الزراعة وصناعة أدوات حجرية مصقولة.

الهائمات أو العوالق Plankton: مجموعة الكائنات الحية الصغيرة، بما فيها الطحالب والبرزويات التي تطفو وتتحرك بكميات كبيرة في المياه العذبة والمالحة، وبخاصة بالقرب من السطح، وهي طعام للسمك والكائنات الأكبر.

التجوية Weathering: العمليات الكيميائية أو الميكانيكية التي تتحوّل بها الصخور المتعرضة للطقس في صفاتها وتتكسّر.

الرياح التجارية Trade Winds: أنظمة الرياح المسيطرة على معظم المناطق الاستوائية، بما فيها الجزء الرئيسي من الدورة العامة للغلاف الجوي، والتي تنفُخ في شمال شرق النصف الشمالي من الكرة الأرضية وجنوب شرق الجزء الجنوبي منها. وعادة ما تُستعمل بصيغة الجمع.

إل نينو El Niño: احترار في سطح المحيط على الساحل الغربي من أميركا الجنوبية، يحدث كل 4 إلى 12 سنة عندما لا يكون هناك أثر للمياه الباردة الغنية بالمواد الغذائية. ويسبّب إل نينو موت العوالق والأسماك ويؤثر في الطقس فوق قسم كبير من المحيط الهادي.

الهولوسين Holocene: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي والترسبات الحديثة

من الفترتين القريبتين من الفترة الرباعية، ويمتد من نهاية العصر البلستوسيني حتى الزمن الحاضر.

الدُبال Humus: مادة عضوية بنيّة أو سوداء تحتوي على خضار متآكل كلياً أو جزئياً أو مادة حيوانية، تعطي موادً غذائية للمزروعات، وتزيد من قدرة التربة على الاحتفاظ بالماء.

المُنخربات Foraminifera: كائنات من البرزويات البحرية في نظام المنخربات تمتاز بأصداف كلسية مع ثقوب ينتأ منها أرجل كاذبة.

الميوسين Meocene: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي أو سلسلة الصخور والترسبات للفترة الرابعة من العصر الثلثي، ويتصف بتطور العشب والثدييات التي ترعى.

الجوراسي Jurassic: ما ينتمي إلى زمن وترسبات الفترة الثانية من العصر الوسيط، ويتصف بوجود الديناصورات وظهور الثدييات الأولى والطيور.

العصر الوسيط Mesozoic: ما ينتمي إلى الفترة الثالثة من الزمن الجيولوجي، بما فيه العصر الترياسي، والجوراسي والطباشيري، ويتصف بتطور الزواحف الطائرة والطيور والأزهار وظهور الديناصورات واختفائها.

الطافية Buoy: وهي شيء عائم له ضوء أو دلالة في الماء، يأتي كتحذير لخطر أو كعلامة لقناة.

حفرة السبر Borehole: وهي حفرة تعمل في الأرض لغرض الاستكشاف أو البناء، أو استخراج المياه.

البلستوسيني Pleistocene: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي وسلسلة الصخور والترسبات للفترتين المبكّرتين للعصر الرباعي، ويتصف بالظهور المتعاقب وتراجع التجلد الشمالي وظهور أجداد الإنسان المعاصر.

المسبار اللا سلكي Radiosonde: وهي آلة تُحمل عالياً، بالمنطاد بشكل رئيسي، لتجميع البيانات الأرصادية ونقلها.

بدائية النواة Prokaryote: كائنات أحادية الخلية، تحتوي على نواة بدائية، تتصف بغياب الغشاء النووي وبحمض نووي غير مُنتظّم بكروموسومات، مثل البكتريا.

عملية التركيب الضوئي Photosynthesis: هي عملية حيوية بنائية يتم فيها تركيب الكربوهيدرات من ثاني أكسيد الكربون والماء باستعمال الضوء كمصدر للطاقة. تجري هذه العملية في النباتات الخضراء وبعض البدائيات البروكاريوتية. معظم أشكال هذه العملية تُصدر الأكسجين كمنبع ثانوي.

العصر الفجري Eocene: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي وسلسلة الصخور والترسبات وأحافير الفترة الثانية قِدماً من العصور الخمسة الرئيسية من العصر الثلثي، ممتداً من نهاية البلايوسين إلى بداية الأوليجوسين، ويتصف بظهور الثديات.

حقيقية النواة Eukaryote: كائن حي وحيد الخلية، أو متعدد الخلايا، يحوي نواة لها غشاء خاص.

الكامبري Cambrian: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي وأنظمة الصخور والترسبات للفترة الأولى من العصر البليوزويك، ويتصف ببحار دافئة ومناطق صحراوية.

برمي Permian: ما ينتمي إلى الزمن الجيولوجي وأنظمة الصخور وترسبات الفترة السابعة والأخيرة للعصر البليوزويك.

الجمد السرمدي Permafrost: طبقة متجلّدة باستمرار على عمق متفاوت تحت سطح الأرض في المناطق القطبية المتجمدة.

الهوابط، الحُليمات العُليا Stalactite: رواسب كلسية مدلاّة من سقوف المغاور.

الطاعون الأسود Black Death: طاعون تفشّى في أوروبا في القرن الرابع عشر فذهب ضحيته بضعة ملايين من البشر.

العصر السيلوري Silurian: العصر الثالث من الدهر القديم. يتميز بظهور بعض القشريات الكُبرى.

البُلسار Pulsar: نجم لا يُرى في كثير من الأحيان يُرسل نبضات ضوئية قوية، شديدة القصر، أو نبضات راديوية، أو نبضات أشعة أكس، في فترات منتظمة إلى حد بعيد.

الخث Peat: فحم حجري لم يكتمل تحوله إلى كربون. يقع في الدرجة

الدنيا من سلّم تصنيف الفحم الحجري لاشتماله على نسبة عالية من الماء تجعله وقوداً رديئاً. تكثر حقوله في المناطق السّبخة، وبخاصة في آلاسكا وكندا، حيث يتكوّن نتيجةً لتراكم طبقات متتالية من نباتات قضى عليها نقص الأكسجين. والخث بني اللون أو أسوده، يُتخذ في بعض البلدان الأوروبية وقوداً وبخاصة في إيرلندا.

الحجر النيزكي Meteorite: شهاب يبلغ سطح الأرض من غير أن يتبدّد تبدّداً كاملاً.

الأوج Aphelion: النقطة التي يكون فيها الكوكب السيّار أبعد ما يُمكن عن الشمس.

الجزيرة المرجانية Atoll: شعب بحري مرجاني حلقي الشكل يُحيط بهور أو لاغون.

الراتنجية Spruce: شجرة من الفصيلة الصنوبرية.

الكسلان Sloth: حيوان أدرد يقيم في أشجار الغابات الاستوائية في أميركا الجنوبية والوسطى.

التكتونية Tectonics: متعلّق بتشوه أديم الأرض، والقوى المؤدية إليه، والأشكال الناشئة عن ذلك.

نيوبروتيروزويك Neoproterozoic: هي وحدة الزمن الجيولوجي من 1000 إلى 10,542 مليون سنة. والمرحلة النهائية هي الأيون البروتيروزويكي، وهي مقسمة إلى فترات التونيان، والكريوجنيان، والإيدياكاران.

ثبت المصطلحات
عربي ــ انجليزي

إل نينو	El-Ninio
الأوج	Aphelion
بدائية النواة (بروكاريوت)	Prokaryote
برمي	Permian
البلسار، مصدر مشع ومضي	Pulsar
البلستوسيني	Pleistocene
التجوية	Weathering
التكتونية	Tectonics
الجزيرة المرجانية	Atoll
الجمد السرمدي	Permafrost
الجوراسي	Jurassic
الحجر النيزكي	Meteorite
الحزاز	Lichen
حفرة السبر	Borehole
حقيقية النواة	Eukaryote
الحمض الأميني	Amino acid
خاص بالعصر الحجري	Neolithic
الخث	Peat
الخيزران	Bamboo
الدُبّال	Humus
الراتينجية	Spruce
الرذاذات أو الهباء الجوي	Aerosol
الطاعون الأسود	Black death
الطافية	Buoy

Cretaceous	طباشيري
Alga	طحلب
Silurian	العصر السيلوري
Eocene	العصر الفجري
Mesozoic	العصر الوسيط
Photosynthesis	عملية التركيب الضوئي
Cambrian	الكامبري
Sloth	الكسلان
Biosphere	المحيط الحيوي
Radiosonde	المسبار اللا سلكي
Ague	الملاريا
Foraminifera	المُنخربات
Miocene	الميوسين
Biota	نباتات منطقة أو حقبة وحيواناتها
Neoproterozoic	نيوبروتيروزويك
Plankton	الهائمات أو العوالق
Stalactite	الهوابط ، الحُليمات العُليا
Holocene	الهولوسين
Meteor	نيزك أو شهاب

ثبت المصطلحات
انجليزي ــ عربي

Aerosol	الرذاذات أو الهباء الجوي
Ague	الملاريا
Alga	طحلب
Amino acid	الحمض الأميني
Aphelion	الأوج
Atoll	الجزيرة المرجانية
Bamboo	الخيزران
Biosphere	المحيط الحيوي
Biota	نباتات منطقة أو حقبة وحيواناتها
Black death	الطاعون الأسود
Borehole	حفرة السبر
Buoy	الطافية
Cambrian	الكامبري
Cretaceous	طباشيري
El-Ninio	إل نينو
Eocene	العصر الفجري
Eukaryote	حقيقية النواة
Foraminifera	المُنخربات
Holocene	الهولوسين
Humus	الدُبّال
Jurassic	الجوراسي
Lichen	الحزاز
Mesozoic	العصر الوسيط
Meteor	نيزك أو شهاب

Meteorite	الحجر النيزكي
Miocene	الميوسين
Neolithic	خاص بالعصر الحجري
Neoproterozoic	نيوبروتيروزويك
Peat	الخث
Permafrost	الجمد السرمدي
Permian	برمي
Photosynthesis	عملية التركيب الضوئي
Plankton	الهائمات أو العوالق
Pleistocene	البلستوسيني
Prokaryote	بدائية النواة (بروكاريوت)
Pulsar	البلسار، مصدر مشع ومضي
Radiosonde	المسبار اللا سلكي
Silurian	العصر السيلوري
Sloth	الكسلان
Spruce	الراتينجية
Stalactite	الهوابط، الُحليمات العُليا
Tectonics	التكتونية
Weathering	التجوية

فهـــــرس

ـ أ ـ

آرهنيوس، سفانت: 26، 481
آينشتاين، ألبرت: 591
الابتراد القطبي الجنوبي: 341
الابتراد الكوني: 27-28، 45، 77، 84، 112، 133، 141، 171، 198، 243، 245، 293، 330، 332، 517، 633، 639
الاتحاد الأوروبي: 592
الاتحاد الدولي للأبحاث الفصلية: 415
الاتساع الحراري: 406، 409، 412-413
اتفاقية كيوتو: 19
الأتمتة (Automation): 492
إثيوبيا: 108، 179، 284
الاحتباس الحراري: 218، 314، 435، 443، 477، 479، 567، 622
احترار التروبوسفير: 507
الاحترار الروماني: 44، 80-82، 86، 89، 93-94، 96-98، 102، 113، 119، 183، 187، 189، 254، 256-257، 262، 414، 518، 521، 527، 555، 606، 632
احترار العصور الوسطى: 32، 45، 82، 84، 86-87، 89-99، 102-103، 106-107، 114-115، 118-122، 124، 130-131، 140، 171-172، 183، 187، 189-190، 254، 256-257، 262، 265، 352، 371، 378، 405، 413-414، 419، 424، 450، 453، 464، 499، 516، 518، 520، 527، 555، 570، 583-584، 606، 616، 632، 636
الاحترار القطبي الشمالي: 341
الاحترار الكوني: 18-19، 22-23، 25، 27-33، 35-38، 45-46، 48، 63، 75، 119، 123، 129، 135، 141، 147، 163، 173، 181، 198، 221، 240، 245، 253-258، 262-264، 268-269، 271-273، 301، 315، 329، 334، 339، 344-345،

359، 371، 373، 378، 382-383، 392، 403، 411-412، 446، 453، 456-457، 467، 473، 487، 497-498، 500، 504، 507، 509-510، 512، 521، 527، 530-533، 535-536، 553-555، 567-574، 576-589، 592-594، 600، 602، 607-609، 611، 615-618، 620، 622، 626-633، 635، 638-640

الاحترار المينوي: 254، 584

الأحجار الترسبية: 145

أحداث هاينريخ: 293، 331-333

إدارة استثمار الجيل: 576

الإدارة الوطنية لعلم المحيطات والغلاف الجوي: 498

أدهيمر، جوزيف: 317

الأذرع اللولبية المجرية: 143

أرخبيل شتلاندز (اسكتلندا): 58

أرسطو: 22، 48

الأرغوت (فطر سام): 105

الأرغون: 205، 288، 484، 523

الأرماغيدون: 638-639

إزالة الغابات: 542

الأزمنة الباردة: 85، 87، 99، 112-113، 117، 120، 332-333

الأزمنة الدافئة: 46، 87، 99، 120، 258، 332، 371

استصلاح الأراضي: 89

أشجار الصنوبر الأهلب: 123-125، 172

الإشعاع الكوني: 137، 147، 151، 172، 175، 217، 335، 355، 429، 479، 541، 564

الأشعة تحت الحمراء: 356، 448، 479، 481-488، 490، 493، 543-545، 547-549

أشعة غاما: 247

الأشعة فوق البنفسجية: 154، 158، 204، 215

الأشعة الكونية: 34، 60-61، 135-136، 138، 141-142، 144-145، 147-153، 156، 175، 178، 184، 191-192، 224، 247، 249، 308، 479، 582، 591-593

الأصداف: 103، 186، 207، 224، 229-231، 241، 306، 308، 353-354، 386، 389، 434، 436-437، 439، 441، 443، 445، 451، 522

الأصداف العائمة: 186، 354، 451

أصداف الكائنات البحرية: 437

أصداف الكربون: 241

الأصداف الكربونية: 434

الاضطراب الداخلي للشمس: 159

الاضطرابات الكوكبية: 136

إعصار كاترينا: 399، 532، 534، 578، 633

أغاسيز، لويس: 317
أفخاخ سيبيريا: 238–239، 284
إفسوس، جون: 83
أفلاطون: 48
الأقمار الاصطناعية: 157، 159، 162، 164، 210، 259، 272، 352، 359، 363، 383، 394، 407–408، 416، 453، 462، 494، 497، 499، 506–508، 510، 512، 541، 554، 565، 583، 585، 628
الأكاديمية الوطنية للعلوم: 31، 125–126، 588
الأكسجين: 102، 145، 147، 155، 186–187، 199–201، 205–208، 210–212، 221، 224، 229–230، 235–237، 240، 243، 246، 248، 275، 287–289، 306، 308–309، 319، 322، 324، 334–335، 341، 348، 353، 373، 378، 391، 417، 434–435، 439، 441، 444، 447، 451، 480، 483، 516، 519–520، 522–523، 526، 543، 558
الأكسجين الثقيل (O18): 335، 348
الأكسجين الخفيف (O16): 334
أكسيد النيتروجين: 20، 337، 367، 547
أكسيد النيتروس: 26، 524
أكسيد النيتريك: 20
الأكسيدات النيتروزية: 19
الإكوادور: 70، 459، 461
إل نينو: 24، 34، 70–71، 153، 273، 289، 294، 337، 347، 354، 382–383، 387، 402، 406، 448، 450، 459–472، 489–490، 506، 508، 540، 549، 556، 565، 571، 578–579، 630
ألاسكا: 57، 71، 77، 95، 115، 253، 295، 344، 350
الألغوريتم: 124–125
الامبراطورية الآشورية: 77
الامبراطورية الأكدية: 73–74
الامبراطورية البيزنطية: 84
الامبراطورية المصرية الوسطى: 77
الامبراطورية المينوية: 77، 299
الأمراض الاستوائية: 29، 198، 264
الأمراض المعدية: 264
الأمطار الموسمية: 68، 75
الأمونيا: 201، 205، 218، 287
إنتاج الوقود الحيوي: 568
الانخساف: 17، 99، 225، 323، 327، 332، 372، 376، 399، 414، 423
انخفاض نمو المحاصيل: 72
انزلاقات تحت بحرية: 303
انسياب الأنهار: 64، 136
انسياب الماء تحت الجليد: 324

أنظمة الاستشعار عن بعد: 498
الانفجارات البركانية: 50، 151، 225، 240، 274، 279-281، 289-293، 296، 300، 302، 334، 348، 404، 508، 522، 524-525، 614
انفجارات السوبرنوفات: 247، 336، 523
الانفجارات الغازية: 281
الانقراضات الجماعية: 230، 233-238، 245
الانقراضات المحلية: 237
الأنهار الجليدية: 37، 44، 53
انهيار السدود: 633
الاهتزاز الكوني ضمن التردد المنخفض: 161
أودية الألب: 43، 47، 313-314، 326، 371
أوراق الشجر: 513-516
أوريسكس، نايومي: 589
أول أكسيد الكربون: 19-20، 288
أيونات الهيدروجين: 160

- ب -

بابادج، تشارلز: 615
بابوا غينيا الجديدة: 279، 283، 393، 419، 422
باربادوس: 422
الباهاماس: 157، 425، 449
بايزر، بني: 589
ببيز، ساموبل: 266
بحر الأدرياتيك: 470، 523
بحر إرمنغر: 333، 403
البحر الأسود: 58، 66-67، 83، 267، 390-392، 441
بحر إيجه: 523
بحر باندا: 471-472
بحر البلطيق: 90، 183
بحر السرجس: 113
البحر القطبي الشمالي: 100
البحر الكاريبي: 284، 449، 534
بحر اللابرادور: 331، 346، 454، 456، 458، 512
بحر مرمرة: 391
البحر الميت: 91، 332
البحيرات الاستوائية: 179
بحيرات أميركا الجنوبية: 76
بحيرات تحت جليدية: 359
بحيرة أغاسيز (شمال أميركا): 59
بحيرة طبريا: 91
بحيرة فكتوريا: 78، 91، 179
بحيرة كراكانس: 61
بحيرة مونو (كاليفورنيا): 95
بحيرة نوف شاتيل (سويسرا): 90، 183
بحيرة نيس (الكاميرون): 237
بحيرة يلوستون: 281
بخار الماء: 19، 26، 150، 194، 205، 236، 275-276، 279،

286–288، 323، 438، 474،
481، 483–487، 511، 525،
537، 547، 549، 559، 564–
565، 584، 634
البراكين البازلتية: 275–276، 278،
285–286
البراكين البازلتية في المريخ: 285
البراكين التحت بحرية: 276، 278
البراكين العظمى: 198، 237–238،
240، 244، 280، 283–284،
287
البراكين العظمى البحرية: 198، 284
البراكين في قاع البحر: 348
برزخ كورنث: 405
بركان تامبورا (أندونيسيا): 110،
223، 513، 516، 519
بركان توبا (أندونيسيا): 55
بركان جبل بيناتوبو (الفيليبين): 288
بركان سانت هيلينه: 244
بركان سانتوريني: 77
بركان كراكاتوا (أندونيسيا): 110،
244، 295
بركان كودوفسكايا (جزيرة إتوروب):
287
بركان لاكي (آيسلاندا): 291
بروتوكول كيوتو: 603، 613–614
بروتوكول مونتريال: 563، 630
بروك، باري: 501
البريليوم 10 (Be10): 148
البصمة الكيميائية: 526
البطريق: 369، 382
بعثة ناسا أوديسيا: 172
البعوض أ. كوليسيفاشيس: 268
بعوض الملاريا: 266
البكتريا: 17، 197، 199–200،
202–203، 205–206، 209،
212–214، 217، 222، 225–
228، 235، 250، 427–429،
433، 537، 541، 553، 560–
561، 563، 573، 593، 610
بكتريا التربة: 429
البكتريا داكنة الزرقة: 222، 225
البكتريا في الصخور: 429
بكتريا ميثانوجينية: 562–563
بل، جورج: 608
بل، وليام: 598، 601
بلاد ما بين النهرين: 69، 71، 74–
75، 374، 392
بليني، جيفري: 41، 509
البوتاسيوم: 217
بولين، برت: 551
البيت الزجاجي: 31، 314، 479،
484، 486، 490، 634
بيرانزونوس، نيكولاس: 596
البيئة الألبية: 515
بيئة المياه العذبة: 515
بيئة المياه المجّة: 515

ـ ت ـ

التآكل (Erosion): 518، 536

التآكل المنخفض للبحيرات: 91
تانستتر، جورج: 596
تثقيب الجليد بالمشروع الأوروبي للب الجليد في القطب الجنوبي: 367
تجلد أبرنافيك: 327
تجلد البرمو-كاربونيفيروس: 220، 223، 321، 438، 557–558
التجلد البلايستوسيني: 144، 223، 225، 513، 558
التجلد الستورتي: 222
تجلد فريمونت في وايومنغ: 256
التجلد الكريوغنياني: 145
التجلد النيوبروتيروزوكي: 142، 220–223، 225–226، 230، 394
تجلد هورونيان: 145
تجلدات أوردوفيشيان-سيلوريان: 220
التجمع داخل الاستوائي: 182
التجوية: 118، 204، 206–208، 210، 218، 225، 235، 242، 274، 322، 357، 406، 434–435، 439–440، 473، 518، 520، 553
التجوية السليكاتية: 473
التجوية الكيميائية: 207، 274
تحليل المركب الرئيس: 132
التخصيب بالحديد: 435
التدرج البطيء: 324
التذبذبات المدارية: 199، 309
تراجع الجليد في شنيدجوخ: 69
تراكم الملح: 72
التربة: 16–17، 47–48، 88، 118، 138، 148، 253، 440، 451
الترسبات البحرية: 76، 184–185، 308، 391، 439، 463
ترسبات البحيرات: 55، 64، 70، 74–76، 93، 96–97، 126، 138، 178، 183، 514، 518
ترسبات البحيرات في جنوب ألبرتا: 96
ترسبات الكهوف في نيوزيلندا: 73
تركيب الهواء: 17، 314، 323
التروبوسفير: 188، 289، 291، 294، 296، 486–490، 497، 506–507، 510–511، 549، 638
التروبوسفير الاستوائي: 506، 511
التسونامي: 110، 244، 303، 390، 403
تشالندر، غي: 26
تشيكسولوب (المكسيك): 237–238
التصادم الأكرماني: 235
التصحر: 72، 74، 141، 198، 275
التعديل المتجانس: 503–504
التعديل المديني: 503
التعدين والتنقية: 336
تغير الحرارة: 17
التغير في منحدر اليابسة: 324
تغير المناخ: 15–19، 21، 25–27، 30–33، 35–36، 38–39، 43–46، 48–49، 56، 64، 68، 70–71، 73–76، 94، 97–98،

108، 113–114، 117–120،
124، 126، 129–130، 137،
141، 153، 158، 168، 172–
175، 178–181، 187، 189–
191، 193–195، 198–199،
219–220، 224، 227، 243–
245، 251، 253–255، 261،
265، 271، 273، 281، 300،
308، 310، 319–321، 329،
333، 349، 364، 368، 370–
372، 374، 382–383، 392،
415، 418، 420، 423، 434–
435، 463، 472، 475، 480،
502، 512، 514، 519، 521–
523، 525–526، 531، 536،
565، 568، 570–571، 573–
576، 578–580، 587–591،
607–608، 611–612، 618–
619، 621–624، 627، 629،
631، 640

التغييم (Clouding): 154، 194، 372، 489، 512، 565

تفكك الغاز: 427

التقاطب الشمسي الموجب الأقصى: 170

تقرير غارنو: 624

تقنيات الثوريوم ـ اليورانيوم: 65

تقنيات جيوديسية: 372

تقنية الأشعة تحت الحمراء: 544

تكتونيات الصفائح: 406، 444، 591

التمزق الاجتماعي: 16، 84

التناقص السكاني: 16

التوجيه المجري: 214

تورنر، جون: 598

توريل، بيير: 597

توماس، جورج: 40

تيار جليد كامب: 359

تيار جليد ويلانز: 359

تيار الخليج: 60، 109، 449–450، 454، 457–459، 529

تيار غولف ستريم: 103

تيارات المحيط: 17، 25، 50، 59، 66، 74، 135–136، 194، 198، 230، 245، 248، 308، 347، 355–356، 370، 378، 381، 383، 385، 387، 404، 449، 452، 456–457، 459، 469–470، 472، 529، 532، 582، 588

التيتانيوم 44 (Ti44):

التيجان المرجانية: 423

تيكل، كريسبن: 27

تيندال، جون: 26

ـ ث ـ

الثابت الشمسي: 162–164، 166

ثاني أكسيد السيليكون: 71

ثاني أكسيد الكبريت: 20–21، 236، 238–240، 275، 286–289، 291، 335

ثاني أكسيد الكبريتيك: 236، 238، 286
ثاني أكسيد الكربون: 16، 18-21، 24-26، 30، 32-33، 35-37، 39، 43-45، 49، 53، 56، 98، 173، 202، 218، 229، 231-232، 236، 260-262، 269، 272، 275-276، 279، 285-287، 311، 321-322، 432، 438، 462، 489-490، 536-537، 548، 574، 576، 582، 584، 587، 608، 613-614، 628-630، 634-638
ثاني أكسيد الكربون المذاب في مياه البحر: 426
ثاني أكسيد النيتروجين: 20
الثعالب القطبية: 256
ثقب طبقة الأوزون: 159، 193، 295
الثوريوم: 65
ثيوفراستوس: 48

- ج -

جبال الألب: 25، 47، 53، 66، 69، 73، 88-89، 108، 113، 181، 189، 259، 366، 371، 516، 553
جبال سييرا نيفادا (كاليفورنيا): 95، 101، 123
جبال القوقاز: 376
جبال الهيمالايا: 434-435
جبل كليمنجارو (تنزانيا): 74
الجذام: 250
جرف شمال الأطلسي: 529
الجزر الإندونيسية: 110، 355
جزر الأوركنيز: 58
جزر الغالاباغوس: 70
جزر المالديف: 424
الجزر المرجانية: 25، 385-386، 408، 414، 419، 421-424
جزيرة بافن: 263، 341-342
جزيرة برمودا: 404
جزيرة الحرارة المدينية: 19، 24، 446، 496، 502-503، 505
جزيرة سردينيا: 58
جزيرة سومبارا: 296
جزيرة صقلية: 58، 115
جزيرة كريت: 403
جزيرة كورسيكا: 58، 269
جزيرة ميلوس (اليونان): 58
جزيرة هاينان: 111
جزيئات الماء: 388
جسيمات الغبار: 138-139، 147، 150
الجفاف: 16، 62، 64-65، 68، 71، 73-77، 85، 92-93، 114، 180-181، 314، 336
جلاميد (Boulders): 330
الجلمود: 279
جليد البحر: 102، 104، 106، 177، 186، 263، 314، 320، 342-

343، 346–347، 351، 356،
363، 365، 376، 378–379،
381–384، 402، 414، 425،
446–447، 578
جليد البحر في بحر غرينلاند: 343، 379
جليد فوستوك: 207، 366، 525–526
جمعية الأرصاد الجوية العالمية: 493

- ح -

حاجز الشعب المرجانية الكبير: 419
حادثة شرنوبيل: 524
حجر الجير: 386، 519، 553
حجر الكلس المرجاني: 421–423
حديقة يلوستون: 28
حرارة البراكين: 277
حرارة سطح البحر المنخفضة: 185
حرارة الغلاف الجوي: 204، 277، 446، 448، 459، 483، 488
الحرارة القطبية: 51
حرارة المياه الاستوائية الدافئة: 185
حرق الفحم: 429، 481، 524، 541–542
حرق الفحم والبترول: 524
حرق الوقود الأحفوري: 540–541، 550–551، 553–554، 561
حروب ناملیار: 111
الحزاز: 101، 259
حزام غوولد: 144
حزام المتوسط عبر الآسيوي: 279
الحزام الناقل: 160–161، 217
الحشرات الأحفورية: 65
حضارات بلاد ما بين النهرين: 71
حضارة المايا: 45، 75، 85
حفر السبر: 90، 100، 109، 121، 125
حلقات جليدية: 225
حلقات نمو الشجر: 515–516، 519، 524
الحمض الريبي: 201
حمض الكبريتيك: 50، 114، 150، 208، 236–237، 279، 282، 286، 288، 290–292، 295–298، 335، 431
الحمض الكبريتيكي: 50، 297–298
الحمض النووي: 199، 201، 352
حمم قاع البحر البازلتية: 468
حوض الأمازون: 62، 252
حوض بو (إيطاليا): 180
حوض تلناخ: 239
حوض كارياكو (فنزولا): 61
الحياة النباتية: 53، 64، 66، 81، 97، 107، 114، 227، 258–259
الحيد البحري: 51–52
الحيوانات المجهرية البحرية: 338
الحيود البحرية الاستوائية: 355
الحيود البحرية المرجانية: 246، 270، 389
الحيود المرجانية: 246، 420–422، 425–426، 441، 561، 624

- خ -

الخث (Peat): 64
الخدمة البيولوجية الوطنية الأميركية: 264
خط الاستواء: 51-54، 66، 103، 137، 142، 147، 151-152، 161، 168، 182، 186، 189، 194، 211، 222، 241، 246، 270، 272، 279، 283، 296، 300، 305، 320-321، 324، 352، 370، 402، 429، 446، 448-450، 453-457، 466، 481، 487، 519، 529، 558، 562، 565، 583
خليج إزميت: 391
خليج عُمان: 74
خليج كاربنتاريا (أستراليا): 58
خليج المكسيك: 449، 458، 530
الخمود الشمسي: 148
الخنافس: 59، 514، 563
الخنافس المتحجرة: 59

- د -

داروين، تشارلز: 116، 421، 591
دائرة البروج: 139، 141
دائرة الصيد البحري الأميركية وخدمة الحياة البرية: 263
دايسون، فريمان: 571
دايفيد، إدجورث: 422
الدببة القطبية: 53، 198، 262-264، 317، 319، 578، 585، 632-633
الدخان الخانق الأسود: 205
درارياس الأصغر: 251
درب التبانة: 142-143، 145، 213-214
درجة حرارة سطح البحر: 51، 53-54، 62، 70، 92، 113، 115، 159، 171، 185، 254، 320، 345-346، 351، 354، 356، 378، 380، 383، 386، 388، 403، 416، 419، 427، 434، 445-446، 448-455، 461-462، 469-470، 479، 504، 519، 528-531، 534، 559، 565-566، 634
درجة حرارة المحيطات: 390
درجة حرارة الهواء: 43، 53-54، 88، 94، 116، 137، 315، 323، 328، 330، 342، 350، 358، 367، 373، 388، 464، 472، 480، 516، 555، 559
درجة حرارة ورق الشجر: 516
درجة حرارة اليابسة: 171
درياس الأصغر: 57، 59-63، 65-66
دلتا بانغ تسي (الصين): 69
دلتا الغانج: 407، 558
دلتا الميسيسيبي: 407

دلتا النيل: 403
الدودة الألفية: 563
دوران ثرموهالين: 577
الدوران الجنوبي الأطلسي: 450، 458
دوران شمال المحيط الأطلسي الجنوبي: 456
دورة التبخر والتكاثف: 136
دورة دي فريس ـ سويس: 107، 164، 317
دورة العقدة القمرية: 402
دورة الماء: 174–175، 472–474
دورة ميلانكوفتش: 193، 224، 226، 305، 308–309، 311
دورة هيل: 162، 168، 170
دول الجزر المرجانية: 414
دي كوزا، نيكولاس: 598
ديكسون، جاين: 600
ديكنز، تشارلز: 20
الديناصورات: 237–238، 244، 586

ـ ذ ـ

ذبابة التسيتسي: 578
ذروة الهولوسين: 67، 77، 317، 632
ذوبان الثلج: 65
ذوبان الجليد: 175، 193، 210، 302، 311، 315–316، 334، 371، 373، 379، 388، 403، 414، 584
ذوبان جليد البحر: 381، 402، 414
ذوبانية ثاني أكسيد الكربون في مياه البحر: 426

ـ ر ـ

ردفورد، روبرت: 28
رذاذ الأحماض الكبريتيكية: 55
رذاذ البحر: 107، 147، 151، 294، 523–524
الرذاذات: 292، 497
رذاذات الأحماض الكبريتيكية: 150
الرصاصات المجرية: 146
رف جليد روس: 364، 500
رف جليد لارسن: 364
الرف القاري: 369، 390، 397، 407، 542
الرماد (Ash): 239
الرماد البركاني: 280، 282، 335
رواسب البحيرات: 49
الرواسب الكلسية: 65
الروث المتحجر: 29
الرياح الشمسية: 34، 140، 146، 154–156، 160، 170، 175، 216–217
الرياح المغنطيسية: 157
الرياح الموسمية: 115، 181، 268، 369، 434، 460، 465
الرياح الموسمية الآسيوية: 465
رياح المونسون الأفريقية: 62
ريفيل، روجر: 28، 631

- ز -

الزحرجة: 72، 272
الزخم الزاوي المجمع: 164
زمن الماوندر الأصغر: 81
الزوابع: 342، 403، 505، 533، 535-536
زيفي، ساباتي: 597

- س -

الساتل كومبتون: 249
ساغان، كارل: 594
الستراتوسفير: 153، 158، 186، 289-291، 294-296، 465، 486-488، 565
ستارايساند، باربرا: 28
الستروماتوليت: 227
ستريب، مريل: 28
السحب الركامية: 151
السدود والقنوات: 78
سرعة الضوء: 22
السعال الديكي: 106
سفينة الأبحاث شالنجر: 248
سفينة تايتانيك: 330
السفينة الفضائية أوليسس: 139
سكان الفايكنغز: 108
سلاسل الجبال الجليدية: 314، 364
سلالة شانغ في الصين: 77
سماكة الجليد: 345
سماكة طبقات الوحل: 514
سميث، آدم: 167
سهول الخابور السورية: 73
السوبرنوفات: 217، 247، 314، 336، 523
سوروختين، أوليغ: 588
سويدنبروغ، إيمانويل: 598
السيانوبكتريا: 212
سيبيريا: 57، 83، 115، 140، 182، 238-239، 253، 270، 284، 339، 342، 344، 347، 378، 381، 495-496، 515، 575

- ش -

شاشة ستيفنسون: 492-493، 495-496
شافف، نير ج.: 143
شركة إدارة استثمار التوليد: 632
شركة التعدين أوك تدي (Ok Tedi) للمناجم: 624
شركة ليمان برذرز: 576-577
شركة ليهير غولد: 624
شرمر، مايكل: 617
شُعَب صخرية: 210
الشُفق القطبية: 168
شنايدر، ستيفن: 27
شواب، هاينريخ: 167

- ص -

الصخور الجليدية: 220-221، 394
الصخور الرسوبية: 23، 205، 539

الصخور الكربونية: 394
الصخور المنصهرة: 278، 288، 295، 300، 302، 404، 429-432، 468-471، 553
الصخور النيزكية: 243
صدأ المحيطات: 236
الصفائح التكتونية: 209-210، 216-219، 230، 271، 320، 469، 473، 521، 593
صفائح الثلج: 43-45، 47
صفائح الجليد: 15-16، 34، 53-54، 56، 58-59، 63، 73، 84، 103، 136، 138، 140، 221، 299-302، 304، 313-320، 322-327، 330-331، 333-334، 338-339، 352، 359-362، 365-366، 377، 394، 397، 405، 409-412، 522، 568، 585
الصفائح الجليدية: 15-16، 53، 140، 304، 313، 326، 338، 359
صفيحة جليد القطب الجنوبي: 317، 338، 340، 354، 357-358، 360، 363-365، 368، 390، 584، 623
صواعد كلسية: 79
الصواعد والهوابط: 519
الصين: 20، 69، 93، 98، 111

- ض -

ضفاف نهر النيل: 72

- ط -

الطاقة الجيوحرارية: 471
الطاقة الشمسية: 16-17، 20، 99، 135، 148، 159، 166، 173، 178، 182، 226، 281، 290، 304-306، 309-310، 335، 346، 383، 446، 448، 450، 463، 471، 474، 558، 564، 629
الطبقات الغبارية الأحفورية: 71
طبقة الأوزون: 20، 154، 158-159، 193، 288، 295، 336، 507، 547، 563، 600، 631
الطحالب: 228-229، 250، 434-435، 442-443، 537، 561
طريقة بتنكوفر: 543-545، 547-548
الطمي: 78، 91، 330، 395
الطوفان: 390، 399، 596
طول الدورة الشمسية: 153، 170-171

- ظ -

ظاهرة غلق المد: 215

- ع -

العروق المرجانية في مضائق فلوريدا: 101
عريضة أوريغون: 588
العزم الزاوي: 170

عصا الهوكي: 32، 119–121، 123–124، 129، 131–132، 458، 500، 576، 583، 585، 587، 616، 621، 626، 632
عصر الإيدياكاران: 227
العصر الباليوليثي: 46
العصر البروتيروزوي: 320
العصر البرونزي: 72، 77–79، 371
العصر الترياسي: 270، 285
عصر التصنيع: 34، 118، 340، 636
العصر الجليدي: 16، 26–27، 32، 34–35، 44–46، 53، 55–58، 60، 81، 85، 88–104، 106–110، 112–115، 117–122، 124–125، 130، 140، 149، 165، 171–172، 177–178، 183، 187–190، 192، 198، 223، 250، 257، 265–267، 291، 294، 297، 303، 308، 313، 322، 328، 337، 350–351، 365، 371–373، 375، 378، 393، 405، 413–414، 419–420، 436، 447–448، 450، 453، 456–457، 464، 499، 513، 516–518، 520–521، 554، 557، 568، 583، 616، 619، 630، 632
العصر الجليدي الأخير: 34، 44، 53، 55–58، 60، 250، 303، 322، 393، 419، 447–448، 456
العصر الجليدي الصغير: 32، 35، 45–46، 81، 85، 88–104، 106–110، 112–115، 117–122، 124–125، 130، 140، 149، 165، 171–172، 177–178، 183، 187–190، 192، 223، 257، 265–267، 291، 294، 297، 328، 337، 350–351، 365، 371–373، 375، 378، 405، 413–414، 419–420، 450، 453، 456، 464، 499، 513، 516–517، 519–521، 554، 568، 583، 616، 619، 630، 632
العصر الجليدي القصير: 57
العصر الحديدي: 78–79، 92
العصر الحديدي المبكر: 92
العصر الطباشيري: 245، 247، 514
العصر الكمبري: 228، 230
العصر ما بين الجليدي: 50–51، 54، 56–57، 60، 222، 226، 257، 447، 527
العصر ما بين الجليدي الإيميني: 257
العصر الهولسيني: 82
العصور الوسطى: 32، 45، 48، 76، 82، 84، 86–87، 89–99، 102–103، 106–107، 114–115، 118–122، 124، 130–131، 140، 149، 171–172، 183، 187–190، 254، 256–

257، 262، 265، 345، 352،
371، 378، 405، 413–414،
419، 424، 450، 453، 464،
499، 516، 518، 520، 527،
555، 570، 583–584، 606،
616، 632، 636
عطالله، نعيم: 40
علاج الملاريا: 265
علم الأرصاد الجوية: 23، 470
علم الأركيولوجيا: 19، 23، 45،
70، 117، 592، 614، 628،
635
علم البيئة: 23، 268
علم التبيؤ البدائي: 23
علم الجليد: 23
علم الفلك: 19، 23، 580، 591،
614، 628، 635
علم المحيطات: 23، 498
علم المناخ: 21، 23، 32، 602
علم الوجود البدائي: 23
علماء الفلك: 15، 164–167، 468
عمليات التصدع: 322
عملية إزالة ثاني أكسيد الكربون:
440، 558
عملية التركيب الضوئي: 136، 244،
272–273، 288، 319، 433،
435–436، 516، 541، 545–
546، 557، 584، 610
العواصف الثلجية: 36–37، 47

- غ -

غابات الأمازون (البرازيل): 515
الغابات الأمازونية: 515
غابات أونتاريو: 95
الغابات في أوروبا: 53
غابة مونتيفيردي: 255
غاز الرادون (Rn222): 550
الغاز المتأين: 157
غاز الهيدروجين: 142
الغازات البركانية: 275، 284، 287–
288
غازات البيوت الزجاجية: 621
غازات الدفيئة: 19، 26، 31، 136،
155، 176، 194، 357، 448،
480–484، 486–487، 489،
502، 533، 565، 587، 618–
619، 621–622، 629–630، 634
غاليليو: 23، 28، 585، 603
الغبار الأحمر: 436
الغبار الأرضي: 141، 523
الغبار البركاني: 150، 293، 517،
523
الغبار الذري: 243
غبار الصحارى: 71
غبار الطلع: 64، 79، 81، 96–97،
122، 188، 191، 307، 513
الغبار في الهواء: 137
غبار المذنبات: 17، 150، 336
غراهام، جيمس روبرت: 474

الغربيات: 449
غرينلاند: 25، 34، 45، 54، 57، 59، 61، 63، 65، 67، 71، 88، 98، 103-104، 106-108، 111، 113، 115، 140، 145، 177، 182، 187، 192-194، 205، 220، 263، 270-271، 282، 284، 294، 297، 301، 303، 314، 316-317، 323-324، 327-329، 333-334، 336، 340-353، 358-359، 368، 370، 376، 379-380، 403، 409-412، 447، 495، 512-513، 523، 526-528، 556، 571، 577، 623
الغلاف الجوي: 26، 33، 61-62، 101، 133، 136، 139، 147، 149، 152-153، 158-159، 162، 171-172، 175، 193-194، 197-198، 202، 204-205، 207-212، 215-217، 219، 221-223، 225، 227، 232، 236-240، 242-243، 245-247، 269، 274-275، 277، 280، 282، 285-286، 288-293، 295، 312، 318-319، 322، 334، 336، 344، 349، 357، 363، 366، 369، 377، 386-389، 417، 423-424، 426، 428-430، 432-436، 438، 440-443، 445-446، 448، 456، 459، 469، 472-474، 477-490، 497-498، 500، 507، 512-514، 527، 529-530، 533، 537-543، 546-547، 549-561، 563-566، 568، 573، 582-584، 588، 620، 625، 628، 634، 636-637
غور، آل: 28، 124، 359
غينيا الجديدة: 58، 279، 283، 393، 419، 422
الغيوم: 100، 112-113، 135، 137، 146-148، 150-152، 176، 192-193
غيوم الرذاذات: 291-292
غيوم الستراتوسفير البركانية: 565
غيوم الطخرور: 151، 564، 566
غيوم الطخرور الخفيفة: 564

- ف -

الفالق الأناضولي: 391
فايزر، جان: 143
الفترة الإيدياكارية: 227
فترة البريبوريل: 253
الفترة ما بين الجليدية: 47، 49، 52-53، 68، 99، 300، 319، 332، 349-350، 352، 416-417
فرانكلين، بنيامين: 291، 296
فقاعات الهواء: 323، 336، 523
فلوريدا: 101، 425، 449، 529

فوربيه، جوزيف: 26
فوسفور: 229، 434
الفيزياء الشمسية: 23، 159، 580، 591، 614، 628-629
الفيضانات: 48، 50، 72، 80، 83، 93-94، 103، 108، 122، 136، 180-181، 239، 286، 295، 358، 391، 400، 509، 524، 578، 613، 628
فييتنام: 36

- ق -

قارة غوندوانا: 245، 558
قاع البحر: 17، 49، 98، 113، 184-186، 221، 245، 277-278، 340، 348، 355، 390-391، 394، 405، 412، 421، 429-431، 443، 447، 450، 468-469، 522، 562
قشرة الأرض: 17، 208، 217، 236، 276، 278، 285، 299، 407، 426، 432، 469، 543، 553
القشرة العلوية للأرض: 539
قضية حوض موراي-دارلينغ: 575
القطب الجنوبي: 25، 62، 67، 82، 98، 107، 115، 140-141، 155، 172، 192-194، 207، 220، 238، 245-246، 270، 284، 294-295، 297، 303-304، 314، 316-318، 323-324، 327-328، 333-334، 337-340، 347، 349، 353-370، 382-383، 390، 409-410، 412-413، 425، 435، 446، 494-495، 500-501، 506، 523، 525، 527، 544، 548، 558، 571، 577، 584، 587، 623
القطب الشمالي: 67، 116، 140، 176، 187، 193، 242، 246، 256-257، 263، 267، 277، 309، 314، 324، 331، 340-344، 346-349، 351، 353، 355-356، 369، 372، 375-376، 378، 380-382، 402، 433، 449-450، 494، 514، 529، 538، 571
قطرات المطر: 566
قلنسوات الجليد القطبية: 299، 306، 323، 390، 410، 412
قمة الأرض (1992، ريو دي جانيرو): 30
القنابل الذرية: 422، 524
القناة الإنجليزية: 57، 102، 110، 308، 400
قواعد أوكام رايزر: 195
القوة الإشعاعية لثاني أكسيد الكربون
قوة الشعاع الكوني: 136
قوة ميلانكوفتش: 136، 280

قوى الأرض الدورانية: 304
قياس درجة الحرارة: 24، 263، 290، 349، 452، 491-496، 498، 500-502، 504، 513-514، 516، 525، 554، 622، 626، 637
قياس درجة حرارة سطح الأرض: 503
قياسات الثرمومتر: 477-478، 493-494، 510، 513

- ك -

كابلو، أنثوني: 40
الكالسيوم: 155، 229، 374، 389، 437-442
كاليفورنيا: 86، 95-96، 101، 123، 185، 189، 300، 450، 459، 498
الكائنات المجهرية: 182، 185، 211، 316، 386، 429، 435-436، 438، 443، 518، 522، 558، 562، 584
كبريت الهيدروجين: 236، 275، 335
كبريتيد الحديد: 208
الكربون 12 (C12): 541، 552
الكربون 13 (C13): 541، 552
كربونات الكالسيوم: 229، 389، 437-442، 519، 522
كرول، جيمس: 317
كساح الأطفال: 21
الكسوف النجمي: 213
كلارك، ستيوارت: 157
كلاوس، فاكلاف: 41، 592
كلف الشمس: 98، 102، 149، 157، 160-162، 164-172، 174، 179-181، 185، 223، 291، 294، 297-298، 472
الكلور (Cl36): 61
كلوروفلوروكربون: 288، 547، 630
الكلوروفلوروكربونات: 288، 630
كلوريد الصوديوم: 151
كهف كرومنيون (فرنسا): 48
الكوارتز (Quartz): 208، 539
الكوارث المناخية: 23، 572
كواكب النظام الشمسي: 161
كوري، ماري: 591
كوكب الأرض: 16-17، 26، 46، 57، 99، 125، 138-139، 142، 146، 150، 168، 193، 197، 200، 202، 204-205، 207، 213-214، 219، 225-226، 233، 245، 250، 257، 260، 283، 313، 316، 319-320، 355، 359، 387-389، 426، 522، 599-600، 610، 620، 640
كوكب بلوتو: 172-173، 596
كوكب المريخ: 139، 156، 172-173، 200، 216-217، 285، 579، 596

كولومبوس، كريستوفور: 104
كون، توماس: 591
كينان، دوغلاس: 618
كينينمونث، وليام: 501

- ل -

لانغموير، إرفينغ: 614
لب الجليد: 61، 66، 74، 79، 93، 100، 107، 119، 126، 140، 155، 174، 177، 191، 194، 263، 275، 291، 294، 296، 326، 334-335، 349-350، 363، 366-367، 369، 373، 375، 519، 523-528، 542، 545، 552-553، 583، 635
اللجنة الدولية للأمم المتحدة: 26، 118
لجنة مجلس الشيوخ الأميركي للعلوم والتكنولوجية والفضاء: 28
لورنز، إدوارد: 572
لومبورغ، بيورن: 612
الليدياني، جون: 83
ليسنكو، تروفيم: 575
ليل، تشارلز: 421
ليوفتس، سيبريان: 597

- م -

ماكيتريك، روس: 122
ماكينتاير، ستيفن: 122
مالثوس، توماس: 599
مان، مايكل: 120، 500
ماوندر الأدنى: 165، 171، 191، 297
ماي، روبرت: 588
متوسط طول العمر: 39
متوسط العمر المتوقع: 38
المجاعات: 39، 45، 82، 84، 104، 108، 110-111، 120، 298
المجاعة في فنلندا: 46
المجال المغنطيسي للأرض: 216
مجلد فورتونغلر: 373
المجلدات: 29، 59-60، 62، 64، 88، 315-316، 323-330، 333-334، 337، 345، 349، 358-359، 361، 369، 372-373، 375-378، 403، 405، 411-412، 612
مجلدات أودية الألب: 326، 371
مجلس الشيوخ الأميركي: 28، 612
مجموعة المناخ القديم: 127
محاصيل القمح: 45
المُحرِك الشمسي: 136
محصول الأرز: 36
محطات القياس: 494-496، 500، 502-503، 546
محور الأرض: 305-306، 313، 320، 588
المحيط الأطلسي الجنوبي: 62، 456
المحيط الأطلسي الشمالي: 53، 59-60، 71، 164، 296، 331، 449

المحيط المتجمد الشمالي: 340، 379-380
المحيط الهادي: 20، 70، 84، 97-100، 102، 109، 115-116، 153، 244، 251-252، 254، 273، 278، 280-281، 283-284، 344، 347، 355، 381-382، 406-407، 414، 419، 422-423، 449-451، 459-462، 465-471، 518، 528، 532، 565-566، 577، 590
المحيطات الحمضية: 436، 600
المد القمري: 311
المد والجزر: 187، 227، 297، 310، 343، 375، 394-395، 397، 399-400، 402-405، 407، 409، 423، 590
مدار الأرض: 17، 25، 50، 147-148، 193، 197، 215-216، 224، 226، 248، 304، 307-308، 310، 318، 374، 411، 480، 582، 592-593
المدن الآسيوية: 20
مدينة بيبلوس: 73
مذهب ليسنكو: 576، 578
مرتفعات البرازيل: 238، 284
مرتفعات سلاسل غاكل: 348
مرتفعات لومونوزوف: 340
المرجانيات الكثيفة: 420
المرجانيات المسطحة: 420
مرصد أرماغ: 170، 511
المرصد الشمسي والهيليوسفوري: 161
مرصد ماونا لوا: 548
مرض الغنغرينة: 105
مركز بيانات الجريان العالمي في كوبلنز (ألمانيا): 628
مركز التجارة العالمي: 24
مركز خدمة الدوران الأرضي الدولي: 470
مركز الفضاء الدنماركي الوطني: 151
مركز معلومات المسح الزلزالي الوطني الجيولوجي الأميركي: 470
المسبارات اللاسلكية: 497، 499
المستنقعات: 49، 83، 190، 266، 493، 514، 541، 560
مستنقعات الخث: 79، 85، 94، 190
المستنقعات في هولندا: 190
مستوى سطح البحر: 15-16، 25، 34، 43-44، 51-55، 57-58، 63-64، 66-69، 78، 80، 89، 122، 142، 145، 221-222، 226، 245، 247، 250، 282، 299-300، 303، 308، 313، 315، 317-321، 332، 334، 338-339، 350، 352، 354، 359-360، 363-366، 368، 378، 385-386، 389-419، 421-426، 438-439، 459-460، 474-475، 505، 519-520، 535، 568، 577، 584-585، 590، 610، 639

المسح الأرضي: 373
مشروع علم مناخ الغيوم المهد بالأقمار الاصطناعية الدولية: 565
مشروع مناخ تساقط الأمطار العالمي: 273
مضيق بيرينغ (روسيا): 57، 250
معادن التيتانيوم: 518
المقاييس الوكيلة أو غير المباشرة: 522
الملاريا: 30، 198، 264–269، 578
ملاريا الجفاف: 266
ملر، وليام: 598
ملوحة المحيطات: 443–444، 588
المملكة الحِتية: 77
المملكة المتحدة: 28، 37، 48، 52، 79، 84، 111، 133، 498، 509، 528، 531، 570، 577–578، 581، 589، 621، 626، 632
المملكة المصرية القديمة: 73
مناخ الأرض: 16، 25، 33–34، 118، 129، 135، 137، 165، 172، 185، 191، 207، 297، 310، 318، 557، 603، 618
المناخ الهولوسيني: 79، 86، 93، 254
المناطق الاستوائية: 34، 137، 152، 157، 182، 226، 241، 262، 266، 306، 309، 324، 356، 429، 448، 462، 464، 479، 481، 483–484، 497، 549، 554، 610
المناطق الاستوائية الرطبة: 137، 324
المناطق الأناضولية: 66
مناطق البازلت كارو ـ فرار (Karoo-Ferrar): 238
مناطق الخث الاستوائية: 540
مناطق الدلتا المنخفضة: 69
المناطق القطبية: 16، 49، 383، 427، 448، 484، 565
المنخربات الأحفورية: 405، 522
منظمة الأرصاد الجوية العالمية: 28
موت الأطفال: 39
مور، باتريك: 569
موريتانيا: 108–109
مؤسسة (JOIDES Resolution): 248
مؤسسة الدراسات المحيطية للأكاديمية الروسية: 588
مؤسسة غرينبيس: 569، 606، 616
مؤسسة غودارد لدراسات الفضاء: 28، 132، 498
موسم الأعاصير: 531
مولر، يوهان: 597
مومباي: 37
مياه المطر: 54
الميثان: 19، 26، 212، 222، 242–243، 275، 335–337، 367–368، 370، 430، 438–439، 481، 484، 524–525، 539، 541–542، 547، 557، 559–563، 619، 624
ميل، جون ستيوارت: 602

ميلانكوفتش، ميلوتين: 304، 317

- ن -

نافورات الحمم: 278
النشاط البركاني: 17، 225، 242-243، 276، 281، 284، 300-302، 304، 348، 433، 469، 471، 519، 522-523
النشاط الجيومغنطيسي الشمسي: 170
النشاط الشمسي: 16، 34، 45، 75، 79، 98، 100، 117-118، 139-140، 147-150، 152-153، 156-158، 164-165، 169-172، 174-176، 178-182، 184-187، 189-191، 193، 195، 248، 304-306، 308، 314، 345، 455، 468، 472، 510، 523، 541، 549، 556، 588، 629
نشاط المذنبات: 243، 303
نظرية الأرض ككرة ثلج: 226
نظرية الأرض ككرة نصف ثلجية: 226
نظرية الاهتزاز: 304
نظرية شق-الزمام المنزلق: 226
نظرية الميلان العالي للأرض: 226
النمل الأبيض: 559-561، 563، 614
نهر الأمازون: 433
نهر التايمز (انجلترا): 110، 266، 400
نهر الراين (أوروبا): 80، 107
نهر الزامبيزي (أفريقيا): 179
نهر الميسيسبي: 295، 534-535
نهر النيل: 48، 72، 76، 83، 91، 115، 179
نهر ووكر (كاليفورنيا): 95
نوستراداموس: 600
النيازك: 17، 138، 155، 244، 314
النيترون: 19-20، 71، 147، 155، 160، 205، 275، 287، 336-337، 367، 433، 480، 483، 541، 543، 547
النيكل: 155
النيوبروتروزويك: 141-142
نيوتن: 585
نيوزيلندا: 67، 73، 88، 98، 100، 109، 244، 252، 280، 287، 302، 333، 349، 377، 439

- هـ -

هانسن، جيمس: 28، 576
الهائمات: 71، 113، 182، 242، 330، 451، 522-523
هتشنز، د. إ.: 167
هد، رتشارد: 599
هرشل، وليام: 167
هضبة الأناضول: 390
هطول الأمطار: 76، 92، 179-180، 633
هفليوس، يوهانس: 167

هونديوس، أبراهام: 110
هونغ كونغ: 36
هيدرات الميثان: 222، 242-243، 438-439، 562
الهيدروسفير: 473-474
الهيليوم 3 (He^3): 138
الهيئة الحكومية الدولية من أجل تغير المناخ (IPCC): 18، 27-35، 118-121، 123-124، 127، 129-132، 136، 150، 153-154، 162، 254-256، 272، 276، 378، 386، 409، 412، 415-417، 432، 438-439، 462، 468، 478-481، 483، 486-488، 496-497، 505-506، 508، 510-512، 536، 538، 540، 546-548، 550-555، 558، 564، 570-573، 576، 578، 583، 585-589، 593، 602-603، 613، 617-620، 622، 624-629، 634، 636-638

- و -

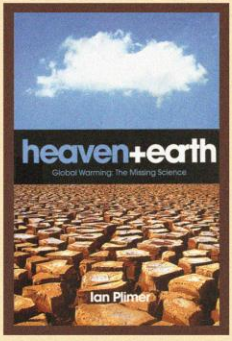
وادي الإندوس (جنوب باكستان): 73
وادي ماكابانسغات (جنوب أفريقيا): 79، 92، 109، 187
وادي الهندوس: 75
واغنر، ألفرد: 270
وباء التيفوئيد: 105
وباء الطاعون: 82، 84
وباء الكوليرا: 112
وغمان، إدوارد: 127
الوقود الأحفوري: 386، 428-429، 539-542، 550-554، 556، 561، 581-582، 585، 622
وكالة الفضاء الأمريكية (NASA): 132-133، 156، 172، 249
ولف، رودلف: 167
الوهج الشمسي: 155، 158، 188
ووكر، جلبرت: 460
وونغ، بني: 574
ويلز، أورسون: 579

- ي -

الينابيع الحارة: 212، 277، 431-432، 442، 561
اليورانيوم: 65، 217

السماء + الأرض

الاحترار الكوني: العِلم المفقود(*)



(*) الكتاب الثالث من البيئة

السلسلة: تضم هذه السلسلة ترجمة لأحدث الكتب عن التقنيات التي يحتاج إليها الوطن العربي في البحث والتطوير ونقل المعرفة إلى القارئ العربي.

الكتاب: يدحض الكتابُ النظرةَ غيرَ العلمية الشائعة بأن الأرض تقترب من تغيّر مناخي كارثي نتيجة احترار كوني سببه تراكم غاز CO_2 الناتج من النشاط البشري. ويؤكد أنَّ لتغيّر المناخ الذي نمرّ به سوابقَ في التاريخ، وأنَّ درجات الحرارة في العقود الحديثة ليست خارجَ مدى التغيّر الطبيعي، فضلاً عن أن تغيّر المناخ يحرّكه وضعُ الأرض من المجرّة، والشمس، والتذبذبات في مدار الأرض، وتيارات المحيط وتكتونيّات الصفائح، ولا يحرّكه تركيز CO_2 في الجو.

ويشير الكتاب أيضاً إلى أنّ مستوى CO_2 في أزمنة سابقة كان أعلى من مستواه الحالي، ومع ذلك لم يتغيّرِ المناخ. وعليه، لا يجد المؤلِّف مبرراً لحالة القلق التي تُشيعها الأمم المتحدة و IPCC، وسياساتُ المملكة المتحدة والولايات المتحدة، وأشخاصٌ هوليوديون مشهورون، ويدعو إلى التمييز بين علوم النشاط البيئي الحقيقية، وبين السياسة والانتهازية.

المؤلف: **إيان بليمر**: أستاذ شرف في العلوم الجيولوجية في جامعة ملبورن (استراليا) ورئيس مجلس علوم الجيولوجيا فيها. حائزٌ عدداً من الجوائز التقديرية. من مؤلّفاته: «**الميلوسي: تاريخ الجيولوجيا**» و«**تاريخ كوكب الأرض المختصر**».

المترجم: **عبد الله مجير العمري**. باحث ومترجم. من ترجماته: «ثورة المطبوعات في بداية النهضة الأوروبية»، «ورامزفيلد: ارتقاؤه، وسقوطه والإرث التدميري».

سلسلة كتب التقنيات الإستراتيجية والمتقدمة

1. المياه
2. البترول والغاز
3. البتروكيمياء
4. النانو
5. التقنية الحيوية
6. تقنية المعلومات
7. الإلكترونيات والاتصالات والضوئيات
8. الفضاء والطيران
9. الطاقة
10. المواد المتقدمة
11. البيئة

مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية KACST

المنظمة العربية للترجمة

(3 - 11)

ISBN 978-9953-82-416-1

الثمن: 35 دولاراً أو ما يعادلها

السماء + الأرض

الاحترار الكوني: العِلم المفقود

إيان بليمر